消防研究所研究資料62号

消防用防火服の耐熱性能の評価に関する研究報告書

基盤研究部　火災研究グループ　箭内英治
基盤研究部　特殊火災研究グループ　鈴木　健
基盤研究部　火災研究グループ　篠原雅彦
基盤研究部　火災研究グループ　畑野　崇

平成16年1月

独立行政法人　消防研究所

まえがき

現在の防火服などの耐熱性能は、各地方自治体の消防独自の仕様に定められており、日本全国で統一された評価基準はない。しかしながら、既に、ISO などでは防火服の耐熱性能の評価法が規格化され或いは、作成されつつある状況にある。また、日本における現状を考えると、世界調和や規制緩和の観点から世界的な標準である ISO を基にした防火服の耐熱性能の評価法を日本の環境に合わせて確立することが必要である。

そのために、本研究では消防用防火服の耐熱性能、快適性能、機能性能に関して実験的に研究し、日本の気候風土に適した消防隊用防火服の耐熱性能、快適性能、機能性能を明らかにし、防火服のトータルな性能評価を行い、防火服の総合的な性能基準値を提案する。

本報告書は、平成 14 年 3 月から平成 17 年 3 月までの 3 年間、消防庁消防研究所で実施することとなっている重点研究「消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究」の内の初年度の「消防用防火服の耐熱性能に関する研究」についての成果をまとめたものである。

平成 16 年 1 月

目　次

図表一覧

付　　録

1　序章

1.1　研究の背景

日本における防火服の性能評価に関する研究は、人体下肢部を模擬した円筒模型を用いた防火服の火炎曝露実験による防熱効果に関する研究[1)、2)]やサーマルマネキンを用いた防火服の火炎曝露実験による火傷分布の推定に関する研究[3)、4)]、東京消防庁消防科学研究所の防火服に関する系統的な研究[5)、6)]などがある。しかし、これらの研究は、現在の防火服の評価にはほとんど利用されていない。また、現在の防火服などの耐熱性能は、各地方自治体の消防が独自で決めており日本全国で統一された評価基準がない。ISO ではサーマルマネキン[7)]や消防用防火服の要求事項に関する規格[8)]が検討されているところであり、日本においても、これらの試験装置が導入され評価が可能となっている。

一方、消防隊用防火服の快適性、機能性に目を向けてみると、最近になって研究がなされているが[9)、10)]、まだ実用的で世界的に認められた評価方法はまだないのが現状である。また、ISO でも現在規格化の検討がなされ始めている段階である。

また、実際の消防隊員から消防用防火服の性能として、耐熱性だけでなく快適性，機能性の面からの要望が出されている。このことを背景に消防用防火服の性能として、耐熱性に加えて快適性や機能性を持たせるように、防火服メーカ、自治体消防の研究所などではいろいろ改良・開発が試みられているが、それを客観的に評価する方法がないのが実情である。

以上のような背景を基に図 1. 1 に示すよな研究を立ち上げ実施しており、本報告は初年度の主に消防用防火服の耐熱性能の評価に関する研究報告書である。

[1)] 渡部勇市：「円筒模型による消防用防護服の火炎曝露実験　第一報」、消防研究所報告、第６３号、p.8(1987)

[2)] 渡部勇市：「円筒模型による消防用防護服の火炎曝露実験　第二報」、消防研究所報告、第６３号、p.25(1987)

[3)] 渡部勇市：「サーマルマネキンを用いた防火服の火炎曝露実験（その１）」、消防研究所報告、第 66 号、p .1（1988)

[4)] 渡部勇市：「サーマルマネキンを用いた防火服の火炎曝露実験（その 2)」、消防研究所報告、第 66 号、p .9（1988)

[5)] 例えば、國本由人他２名：「今後の防火服について」、消防科学研究所報２５号、p .115（1988)

[6)] 例えば、國本由人他２名：「防火服の快適性に関するアンケート調査結果について」、消防科学研究所報２８号、p .1（1991)

[7)] ISO/DIS 13506

[8)] ISO/FDIS 11613.4

[9)] Chung,G.S., Lee,D.H.：“A study on comfort of the protective clothing for firefighters”、The 10th International Conference on Environmental Ergonomics、Sept. 23-27, 2002

[10)] Goldman,R.F.：“The four "Fs" of clothing comfort”、The 10th International Conference on Environmental Ergonomics、Sept. 23-27, 2002

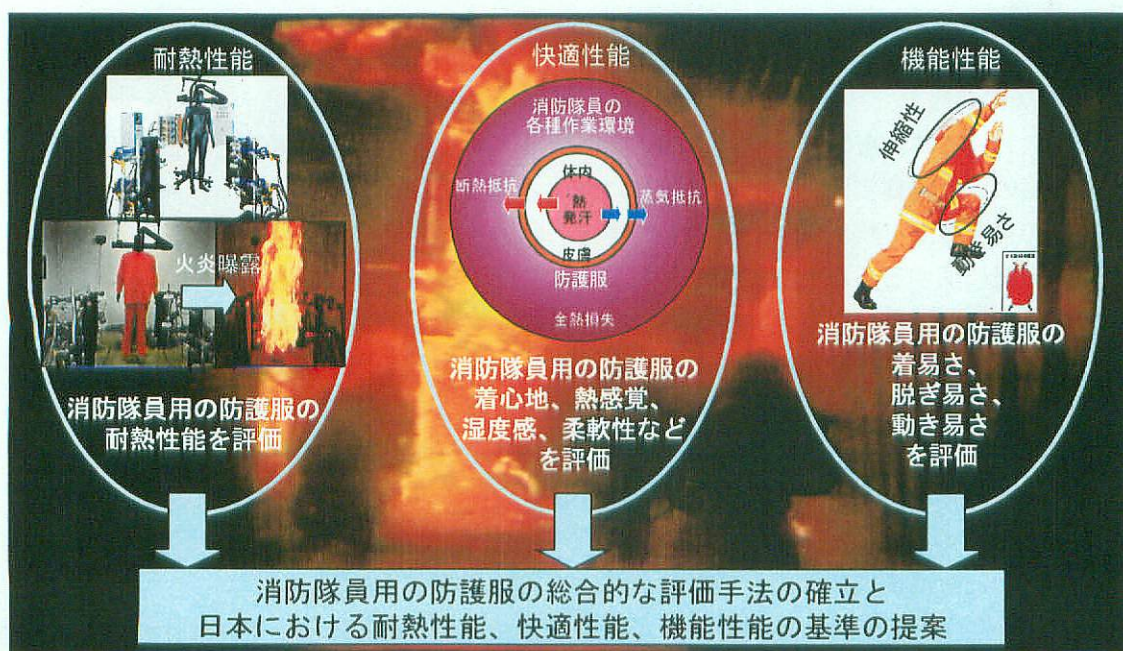



図 1.1　消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究概要

1.2 文献調査

1.2.1 Torvi らの総説を基にした過去の防火服に関連した文献調査

Torvi らの総説[11]をもとにしながら、過去の消防用防火服に関連した研究について紹介する。

（1） 防火服の寿命の推定

防火服の寿命に影響する因子として以下のようなものがあげられる。

・繊維の重量、編み方
・使用頻度
・修理の回数とその方法
・洗濯の方法
・どのような作業に使われたか
・傷みやすい部位への補強の仕方
・強い熱、危険物品、紫外線への暴露

上にあげた因子の影響についてはこれまでも調べられており、その結果は、論文や取扱説明書で知ることができる。

1）取扱説明書

Lion Apparel,
the Fire Industry Equipment Research Organization,
the Fire and Emergency Manufactures and Service Association,

などが発行する取扱説明書のなかで、検査、洗濯、保管、修理、使用の取り止め、廃棄について推奨する方法をみることができる。

2）使用済みの防火服の性能

Vogelpohl[12]は、消防活動や訓練課程で1年から6年間使用された防火服20着について、各種の試験を行った。行った試験は、

thermal protective performance (TPP),
耐火性
耐水性
縫い目の引っ張りに対する強さ
耐引き裂き性
耐摩耗性
紫外線による劣化
ファスナーの動作性
retroreflectivity

であった。試験結果を、使用法、使用年数、洗濯の仕方と比較した。その結果、

・使用済みの防火服はTPP試験を合格した。

---

[11] Torvi, D. A. and Hadjisophocleous, G. V., "Research in Protective Clothing for Firefighters: State of the Art and Future Directions", Fire Technology, Vol. 35, No. 2, 1999, pp. 111-130.

[12] Vogelpohl, T. L., "Post-Use Evaluation of Firefighter's Turnout Coats", M. Sc. Thesis, Univeristy of Kentucky, Lexington, KY, 1996.

・多くの使用済みの防火服は耐火性能を満たした。
・耐水性は使用年数とともに低下した。
・防水透湿層をもつ使用済みの防火服のなかには、防水透湿層が試験に不合格となるものがあった。
・縫い目の引っ張りに対する強さが著しく低下した。

ということがわかった。

Makinen[13] は、着古した防火服、新しい防火服を集め、そこから試験片を採取した。使用の程度と洗濯の回数により、耐火繊維の性能がどのように変化するかを調べた。

3）紫外線と高熱流束の影響

Dayら[14] は、消防用防火服に使用されている生地について、Xenonウェザーメーターで光による劣化を、炉の熱による劣化を調べた。色、引き裂き強さ(CAN/CGSB-4.2 no. 12.2M)、耐火性(ISO6940)、TPPが暴露の前後でどのように変化したかを測定した。暴露の前後で引き裂き強さが減少したが、耐火性とTPPは減少しなかった。

DayとSturgeon[15] は、消防用防火服の熱による劣化を調べるのに、8.4 kW/m^2の熱流束を用いることを勧めている。

Rossi と Zimmerli[16] はISO6942 で定められた装置を用い、消防用防火服の防水透湿層を 10 kW/m^2の熱流束に暴露させた。透湿性は、sweating guarded hot plate(Hohenstein skin model, ISO11092)と cup method(ASTM E96-94)で測定された。透湿性は、熱への暴露により低下した。透湿層の表面を SEM(Scanning Electron Microscope)で撮影したところ、透湿層の微細な多孔構造が熱により破壊されているのが観察された

4）洗濯

耐洗濯性があるとされる難燃性の繊維であっても、工業用の洗濯機で洗濯すれば機能が損なわれる可能性がある。表1.2.1に示したように、工業用の洗濯機での洗濯は家庭用の洗濯機による洗濯に比べて、条件が厳しい。

---

13) Makinen, H., "The Effect of Wear and Laundering on Flame-Retardant Fabrics," Performance of Protective Clothing: Fourth Volume, ASTM STP 1133, James P. McBriarty and Norman W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.

14) Day, M., Cooney, J. D. and Suprunchuk, T., "Durability of Firefighters' Protective Clothing to Heat and Light," Textile Research Journal, Vol. 58, 1988, pp. 141-147.

15) Day, M. and Sturgeon, P. Z., "Thermal Radiative Protection of Firefighters' Protective Clothing," Fire Technology, Vol. 23, No. 1 (1987), pp. 49-59.

16) Rossi, R., and Zimmerli, T., "Breathability and Protection Aspects of Heat Protective Clothing After Thermal Aging," Performance of Protective Clothing: 6th Volume, ASTM STP 1273, J. O. Stull and A. D. Schwope, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, pp. 238-247.

表 1.2.1.1　洗濯の条件

洗濯の条件		家庭用洗濯機	工業用洗濯機
汚れ		垢、泥 軽い汚れ	油汚れ、油脂 著しい汚れ
量		1.8－3.6kg	11.4－453.6kg
処理の条件	PH	9.0－10.0	11.5－12.5
	温度	37.8－48.9℃	60.0－85.0℃
乾燥の条件		48.9－71.1℃	73.9－148.9℃

Loftin[17)]は、Nomex IIIと難燃性の綿であるINDURAを工業用の洗濯機で洗濯、脱水、乾燥した。その後、防火性能を、垂直法(Federal Test Method 5903.1, FTM Std. 191 A)とTPP(NFPA 1971)で測定した。すべての試験体について、平均のafter-flame timeは2.0 s以下で、平均のchar lengthは12.7 cm以下であった。一方、TPPの値は大きくなった。これは、試験体が洗濯により収縮し、密度と厚さが大きくなったからである。

Stullら[18)]は、消防用防火服の洗濯の方法の違いの効果について調べた。使用済みの防火服は様々な化学物質を含んでいる。化学物質に汚染されていることにより、防火服の機能が損なわれることもあり得る。使用済みの防火服を模擬した汚染された防火服を用意し、以下の一般的な方法で洗濯した。

・手洗い(洗剤：Liquid Tide)
・家庭用洗濯機による洗濯(洗剤：Liquid Tide)
・家庭用洗濯機による洗濯(洗剤：Chlorox II)
・家庭用洗濯機による洗濯(洗剤：Versitol)
・工業洗濯機による洗濯(洗剤：Procare 1000)
・業者に委託
・ドライクリーニング

最も効果があったのは、ドライクリーニングであった。なお、強制気流中に置くことでも化学物質の除染に効果があった。

---

17) Loftin, D. H., "The Durability of Flame Resistant Fabrics in an Industrial Laundry Environment," Performance of Protective Clothing: Fourth Volume, ASTM STP 1133, J.P. McBriarty and N.W. Henry, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1992, pp. 775-784.
18) Stull, J. O., Dodgen, C. R., Conner, M. B., and McCarthy, R. T., "Evaluating the Effectiveness of Different Laundering Approaches for Decontaminating Structural Fire Fighting Protective Clothing," Performance of Protective Clothing: Fifth Volume, ASTM STP 1237, J. S. Johnson and S. Z. Mansdorf, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1996, pp. 447-468.

5）危険性物質への暴露

Byran と Hampton[19] は、Kennedy Space Center で推進薬を取り扱う作業員用の防火服に使用されている生地について、化学薬品の影響について検討した。

（2） 試験法・測定法

様々な試験法が提案され、使用されている。測定法、試験法については、Torvi ら[20]、Williams[21] がまとめている。ここでは試験法、測定法の一部について紹介する。

1）熱防護性に関する試験法

a Dynamic TPP

NFPA 1971 で定められた TPP 試験では、試験体には外力は加えられない。Barker ら[22] は試験体に外部から機械的な力を加えた状態で TPP を測定した。Dynamic Thermal Protective Perfomance (DTTP) test と呼んでいる。試験体を固定する部分は、蝶の羽のような形状をしており、ひもを巻き上げることにより固定する部分の角度が変化する。角度が変化するとともに試験体にかかる張力が変化する。最も張力が大きいのは水平な場合で、最も張力が小さくなるのは角度が最も小さくなった場合である。これは膝の曲げ伸ばしに相当する。試験体を固定する部分にあわせて、熱センサーの形状も変化させた。

b Stored Energy Test

火災建物内で活動していた消防士が、フラッシュオーバー時に受けるほどの熱流束を受けたのでなく、また、防火服のshellが熱分解するほどの熱流束を受けたのでもないのに、2度火傷を受けることがある。フラッシュオーバー時に受ける値よりも小さい熱流束であっても長時間受け続けることにより、防火服の内部に熱が蓄積したせいであることが考えられる。防火服の内部の熱の蓄積について評価するための方法として、Stored

---

[19] Bryan, C. J., and Hampton, J. D., "A Method to Determine Propellant Handlers Ensemble Fabric Degradation," Chemical Protective Clothing Performance in Chemical Emergency Response, ASTM STP 1037, J. L. Perkins and J. O. Stull, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1989, pp. 184-194.

[20] Torvi, D. A., Dale, J. D., Ackerman, M. Y., and Crown, E. M, "A Study of New and Existing Bench Top Tests for Evaluating Fabrics for Flash Fire Protective Clothing," Performance of Protective Clothing: Sixth Volume, ASTM STP 1273, Jeffrey O. Stull and Arthur D. Schwope, Eds., American Society for Testing and Materials, 1997.

[21] Williams, J. T., "A Comparison of Techniques Used to Assess the Thermal Burden of Protective Clothing," Performance of Protective Clothing: Sixth Volume, ASTM STP 1273, Jeffrey O. Stull and Arthur D. Schwope, Eds.. American Society for Testing and Materials, 1997.

[22] Barker, R. L., Geshury, A. J.. and Behnke, W. P., "The Effect of Nomex/Kevlar Fiber Blend Ratio and Fabric Weight on Fabric Performance in Static and Dynamic TPP tests," Performance of Protective Clothing: Fifth Volume, ASTM STP 1237, James S. Johnson and S. Z. Mansdorf, Eds., American Society for Testing and Materials. 1996.

Energy Test (SET)がBarkerら[23] により考えられた。

c　NISTで考案された方法

試験体(熱に暴露される部分の面積は255 mm x 255 mm)は、火炎または放射熱(1.0～50 kW/m^2)により加熱される。試験体の表面と内部の温度変化を熱電対により測定する[24]。試験体が乾燥した状態、または、水分を含んだ状態で試験が行われる。

d　マネキン "Henry"

サーマルマネキンを利用して防火服一式の熱防護性を測定する試験(ISO/DIS 13506)では、80 kW/m^{2}の熱流束を加える。ISO6942、ISO9151では、20、40、80 kW/m^{2}の熱流束を加える。これらの試験では、試験体が損傷を受けるような高い熱流束を使用している。しかし、防火服が損傷を受けないようなもっと低い熱流束で消防士が火傷を受けることがある。Rossiら[25] は、防火服一式に低い熱流束(5～10 kW/m^2)の放射熱を加えた際の熱防護性を調べるためのマネキン("Henry"と命名)を開発した。

・放射熱流束の値を変えられる
・防火服の内部の空気層の効果を調べられる
・収縮、炭化(charring)のような損傷の予測に使用できる

などの特徴がある。

PVC製の店舗での展示に使われるマネキンを使用した。熱流束が低いので、耐熱のための処理は不要である。実際に消防士が火傷を受けやすい場所に相当する場所に温度センサーを取りつけた。

e　Cylindrical Geometry Tester

(単層の繊維からできている)防火服を着用している際に熱を受けると、繊維が収縮して空気層がなくなり、着ている人の受ける熱が増加することがある。ASTM D 4108-87、CAN/CGSB-155.22-97、ISO 9151などの試験法では繊維を平面上に固定しているため、加熱時における繊維の収縮の効果を調べるのに向いていない。Daleら[26] は、人間の手足の形状を考慮して、繊維を円筒状に保持する試験器を開発した。

---

23) Barker, R. L., Guerth. C., Behnke, W. P.. and Bender, M.. "Measuring the Thermal Energy Stored in Firefighter Protective Clothing," Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21" Century: Seventh Volume, ASTM STP 1386, C. N. Nelson and N. W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.

24) Lawson, J. R., "Development of an Apparatus for Measuring the Thermal Performance of Fire Fighter's Protective Clothing," NISTIR 6400, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Md., (1999).

25) Rossi, R. M., and Belli, W. P.. "Assessment of Radiant Heat Protection of Firelighters' Jackets with a Manikin," Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21s' Century: Seventh Volume, ASTM STP 1386, C. N. Nelson and N. W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.

26) Dale, J. D., Ackerman, M., Crown, B. M.. Hess, D. Tucker, R., and Bitner. E., "A Study of Geometry Effects on Testing Single Layer Fabrics for Thermal Protection," Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21s' Century: Seventh Volume, ASTM STP 1386, C. N. Nelson and N. W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.

f　溶融金属による暴露のための試験法

Benisek[27] らは加熱源として溶融金属を使用した。約50gの溶融したアルミニウムを45度に傾けた繊維にかけた。

2）快適性に関する試験

a　sweating torso

Zimmerli ら [28] は、人体の胴体の熱移動と発汗を模擬できる装置を開発した。人間の皮膚の熱伝導率、比熱容量と等しくなるように材質を選んだ。

b　Sweating arm

Weder ら [29] は、人体の腕の熱移動と発汗を模擬できる装置を開発した。さらに、肘の関節を動かすこともできる。

3）試験で使用されている熱流束の値と実際の火災現場で遭遇する熱流束の値

NFPA1971では80kW/m2の熱流束が使用されているが、図1.2.1.2に示したように、実際の火災の現場ではそれ以上の熱流束を受けることがある。

表 1.2.1.2 火災時の熱流束

条件	熱流束(kW/m^2)	出典
試験法	80	NFPA 1971, ASTM D 4108
室火災(flashover)	180	Krasnyら[30]
模擬された炭坑爆発	130-330	HolcombeとHoschke[31]
JP-4の火災	167-226	HolcombeとHoschke[31]
家でのガス爆発	170	Daleら[32]

27) Benisek, L., et al., "Protective Clothing - Evaluation of Wool and other Fabrics", Textile Research Journal, 49, pp.212-221(1979)

28) Zimmerli, T., and Weder, M., "Protection and Comfort A Sweating Torso for the Simultaneous Measurement of Protective and Comfort Properties of PPE," Performance of Protective Clothing: 6th Volume, ASTM STP 1273, J. O. Stull and A. D. Schwope, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, pp. 271-280.

29) Weder, M. S. Zimmerli, T., and Rossi, M., "A Sweating and Moving Arm for the Measurement of Thermal Insulation and Water Vapour Resistance of Clothing," Performance of Protective Clothing: Fifth Volume, ASTM STP 1237, James S. Johnson and S. Z. Mansdorf, Eds., American Society for Testing and Materials, 1996.

30) Krasny, J., Rockett, J. A., and Huang, D., "Protecting Fire fighters Exposed in Room Fires: Comparison of Results of Bench Scale Test for Thermal Protection and Conditions During Room Flashover," Fire Technology, Vol. 24 (1988), pp. 5-19.

31) Holcombe, B. V, and Hoschke, B. N., "Do Test Methods Yield Meaningful Performance Specifications?", Performance of Protective Clothing: First Volume ASTM STP 900, R. L. Barker and G. C. Coletta, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1986, pp. 327-339.

32) Dale, J. D., Weckman, B. and Ackerman, M., "HFOG (House Full of Gas) III, Part B: The Explosion and Aftermath," Proceedings, 1995 Spring Technical Meeting, The Combustion Institute, Canadian Section, 1995, paper #43.

試験では高熱流束を加えている間の試験体の性能を測定している。消防士にとっては、防火服が高熱流束に暴露された後のことも重要である。高熱流束に暴露された際に蓄積された熱により、暴露後に火傷になることもあり得る。

4）試験法の間の違い

熱防火服の性能を調べるための試験法の間には違いがある。例えば、NFPA1971 と ASTM D 4108 は、目的、加熱法がことなる。Lee と Barker はこの違いの効果について検討した[33]。他にも、NFPA1971 と ASTM D 4108 では２度火傷を受けるのに要する時間(the Stoll criterion)を使うが、ISO 9151 ではセンサーで 12℃または 24℃上昇するのに要する時間を使う。

5）試験で使用される機器

防火服の素材の試験では、試験体内の温度上昇ではなく、試験体を通過する熱を測定する。多くの試験では、銅板をセンサーに使用する。皮膚を模擬した(皮膚と同等の熱特性を持つ)装置の使用も検討されている。銅板を使用したセンサーには

・頑丈である。
・冷却して素早く再利用できる。
・熱特性がよく知られている。

というような長所があるが、

・試験体が厚い(例えば、防火服から切り取った試験体)場合、火傷に要する時間の予測が困難になる。
・試験体と銅板が接触していた場合、銅板がheat sinkとして作用し、試験体の温度を低下させる

という短所もある。

皮膚を模擬した装置には

・測定結果から、火傷に要する時間を予測するのが比較的容易である。

という長所があるが、

・試験後に冷却するのに時間がかかる。
・銅板に比べて脆弱である。
・洗浄に手間がかかる。
・熱特性を知るために校正の作業が必要となる。

というような短所がある。

6）マネキンを使用した試験

防火服一式の性能を評価するのにサーマルマネキンを使用することがある。Zimmerli [34] がマネキンに関してまとめている。

---

[33] Lee, Y. M., and Barker, R. L., "Thermal Protective Performance of Heat Resistant Fabrics in Various High Intensity Heat Exposures," Textile Research Journal, Vol. 57 (1987), pp. 123-132.

[34] Zimmerli, T, "Manikin Testing of Protective Clothing - A Survey," Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21s' Century: Seventh Vol ume. ASTM STP 1386, C. N. Nelson and N. W. Henry, Eds., American Society for Test ing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.

火災に関する試験に使用可能なサーマルマネキンを所有する機関は、

Alberta大学[35)]

DuPont Advanced Fibers[36)]

North Carolina州立大学[37)]

帝人株式会社[38)]

消防研究所[39)]

などである。試験時には、80 kW/m^{2}の熱流束を加える。以下のような長所、短所がある。

長所

・防火服一式について調べることができる。

・ファスナーの位置、仕上がり、体に合うかどうかなどのことも調べることができる。

短所

・小規模の試験に比べ費用がかかる。

・小規模の試験に比べ時間がかかる。

炎に暴露された足の動きを模擬できる装置であるThermo-Leg[36)] も開発されている。

7）マネキンに関連した技術

Grimesら[40)] は、North Carolina州立大学で使用している火災に関する試験に使用可能なサーマルマネキン用の熱流束計を開発した。

---

35) Dale, J. D., Crown, E. M., Ackerman, M.Y, Leung, E., and Rigakis, K. B., "Instrumented Mannequin Evaluation of Thermal Protective Clothing," Performance of Protective Clothing: Fourth Volume, ASTM STP 1133, J. P. McBriarty and N. W. Henry, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1992, pp. 717-733.

36) Behnke, W. P., Geshury, A. J. and Barker, R. L., "Thermo-Man and Thermo-Leg: Large Scale Test Methods for Evaluating Thermal Protective Performance,", Performance of Protective Clothing: Fourth Volume, ASTM STP 1133, J. P. McBriarty and N. W. Henry, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1992, pp. 266-280.

37) Prezant, D. J, Barker, R. L., Bender, M., and Kelly, K. J., "Predicting the Impact ofa Design Change From Modern to Modified Modern Firefighting Uniforms on Burn Injuries Using Manikin Fire Tests," Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21s' Century: Seventh Volume, ASTMSTP 1386, C. N. Nelson and N. W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.

38) http://www.teijin.co.jp

39) 例えば、箭内英治：「サーマルマネキン実験装置による防火服試験の紹介」、消研輯報、第54号、p42（2001）

40) Grimes, R., Mulligan, J. C, Hamouda, H., Barker, R., and Soroka, A. J., "The Design of a Surface Heat Flux Transducer for Use In Fabric Thermal Protection Testing," Performance of Protective Clothing: Fifth Volume, ASTM STP 1237. James S. Johnson and S. Z. Mansdorf, Eds., American Society for Testing and Materials, 1996.

8）火災以外の危険な状態のための試験法

Stullら[41]は閉空間で起きた化学火災が発生した場合の化学防火服の性能に関する小規模と実規模の試験法を開発した。

（3）防火服内部における水分の移動

防火服は使用中に、雨にさらされたり、消火用の水がかかったり、消防士が汗をかいたりして、水分を含むことがよくある。水分を含むことにより、かさ密度、比熱容量、熱伝導率などが変化する。また、水蒸気が透過することにより、熱が輸送される。防火服の内部で蒸気が皮膚上に凝縮したところに、防火服を通してやや強い熱があたると、蒸気火傷を受けることがある。

Lawson[42]は消火活動中の消防士がどのようにして火傷を受けるかについてまとめている。

RossiとZimmerli[43]は、防火服に使用されている素材について湿った場合の熱の透過について実験的に調べた。試料として、防火服を模擬した3層または4層の試料(shell(外側の耐火・耐熱層) + moisure barrier (防水透湿層) + thermal liner (断熱層) + 実際に消防士が着用する下着)を14種類使用した。測定には、ISO6942、ISO/DIS9151、ISO/DIS12127の方法を用いた。試料は以下の3通りの条件

温度20℃、湿度65%で調製した場合、

防水透湿層の外側が水分を含んだ場合(80分間水に浸し、5分間脱水)、

防水透湿層の内側が水分を含んだ場合(80分間水に浸し、5分間脱水)、

で調製した。加熱の条件は、

放射熱　80 kW/m^2、5 kW/m^2

対流熱　80 kW/m^2

接触面の温度　150℃、300℃

とした。以下のような結果が得られた。

・防水透湿層の内側が水分を含んだ場合、加熱の条件によらず耐熱性能は低下した。

・防水透湿層の外側はもともと内側ほど水分を含まないため、水分を含んだことの影響は顕著ではなかった。

---

41) Stull, J. O., Veghte, J. H., Mann, P. C., and Storment, S. B., "Developing and Selecting Test Methods for Measuring Protective Clothing Performance in Chemical Flashover Situations," Performance of Protective Clothing: Fourth Volume, ASTM STP 1133, J. P. McBriarty and N. W. Henry, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1992, pp. 908-923.

42) Lawson, J. R., Firefighters' Protective Clothing and Thermal Environments of Structural Fire Fighting, National Institute for Standards and Technology Report NISTIR 5804, Gaithersburg, MD, 1996.

43) Rossi, R.M. and Zimmerli, T., "Influence of Humidity on the Radiant, Convective and Contact Heat Transmission Through Protective Materials," Performance of Protective Clothing: Fifth Volume, ASTM STP 1237, J. S. Johnson and S.Z. Mansdorf, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1996, pp. 269-280.

Veghte[44]は、消防士用手袋の素材の熱防護性に対する素材の含んだ水分の影響について実験的に調べた。放射熱(熱流束：1 W/cm^2、NFPA 1973による)で加熱した場合、水分を含んだ試験体の方が、乾燥した試験体よりも熱防護性が高かった。伝導熱(温度500℃、圧力0.28 kg/cm2、NFPA 1973による)で加熱した場合、Gore-Texの防水透湿層がある試験体では乾燥したものの方が水分を含んだものより熱防護性は高く、Gore-Texの防水透湿層がない試験体では水分を含んだものの方が乾燥したものより熱防護性は高かった。

LeeとBarker[45]は、12種類の単層の耐熱繊維(PBI、Kevler、Nomex、その混紡について、繊維に含まれる水分が、熱防護性に及ぼす影響について実験的に調べた。試料の調製には、

1)乾燥状態、2)相対湿度65%で放置、3)水中で浸潤

の方法を用いた。測定にはTPP試験器を用いた。加熱の条件は、

1)2.0 cal/cm^2/s、放射熱のみ

2)2.0 cal/cm^2/s、放射熱と対流熱

3)0.48 cal/cm^2/s、放射熱のみ

とした。加熱の条件2)と3)では、繊維中の水分により熱防護性が高くなった。熱流束が小さい場合、水分により比熱容量の値が大きくなったことによる効果が、熱伝導率の値が大きくなったことによる効果を上回ったことによる。対流熱で加熱した場合、火炎が繊維を気化させる際に熱を奪うことによる。加熱の条件1)では水分により熱防護性が低くなった。放射熱が水分を気化させ、蒸気がセンサーに熱を運ぶことによる。

（4）熱ストレス、透湿性

熱ストレスと防火服内部における水分の移動には密接な関係がある。

Gohlke[46]はTotal heat loss試験器に関する規格の成立過程についてまとめている。NFPAでは、1989年にNFPA1971の1991年版のための改訂作業のなかで、防火服の熱ストレスに関する試験法の制定のために作業部会をつくった。試験法に要求されたことは、

・防火服の素材の性能を評価でき、その性能と熱ストレスの関係を調べることができる。

・防火服を差別化できる。

・結果に十分な再現性がある。

・結果が消防機関が容易に理解できるようなものである。

ということであった。

耐熱性と透湿性に関する既存の試験法を調べた。その結果、耐熱性の試験法として、

---

44) Veghte, J. H., "Effect of Moisture on the Burn Potential in Firefighters' Gloves," Fire Technology, Vol. 23 (1987), pp. 313-322.

45) Lee, Y. M., and Barker, R. L., "Effect of Moisture on the Thermal Protective Performance of Heat-Resistant Fabrics," Journal of Fire Sciences, Vol. 4, 1986, pp. 315-331.

46) Gohlke, D. J., "History of the Development of the Total Heat Loss Test Method." Performance of Protective Clothing: 6th Volume, ASTM STP 1273, J. O. Stull and A. D. Schwope, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, pp. 190-206.

ASTM D 1518(guarded hot plate method)を選び、透湿性の試験法として、Sweating Guarded Hot Plate、Canadian method CAN2-42-M77、ASTM E96B or BWを選んだ。選定の主要な基準は、装置を購入でき、ラウンドロビン試験に使用できるかどうかであった。人間が防火服を実際に着用して活動し、生理的負担（体内温度など）を測定する方法も検討した。この方法により最も理想的な結果を得ることができるが、手間と費用の点から除外された。また、マネキンを使用する方法も検討されたが、費用と所持している機関が限られていることから除外された。

作業部会では、guarded hot plate methodとSweating Guarded Hot Plateの長所と短所を検討した。このときの選定の基準は、

・多層構造を持った防火服の性能を測定できること
・熱収支に関する理論と合致していること
・測定結果と熱ストレスの間に関係があること

であった。以下の4機関

Comfort Technologies - Dr R. Goldman
Kansas State University - Dr B. Jones and Dr E. McCullough
North Calolina State University - Dr R. Barker
W. L. Gore & Associates, Inc. - P. Crosby and D. Gohlke

に参加してもらいラウンドロビン試験を実施した。

ラウンドロビン試験の結果を検討したところ、以下のような問題点が浮かび上がった。

・試験装置の構造が試験機関により異なる。例えば、装置周囲の空気の流れの状態が異なる。対策としては、標準的な試験法を作り、各機関の装置との相関関係を明らかにすることである。

・試験条件をどのようにすべきか。一定温度で行うのと、温度勾配をつけて行うのとどちらがよいか。それぞれの長所と短所を考慮し、温度勾配をつけることとした。

・試験方法をどのようにすべきか。温度勾配、相対湿度の勾配、空気の流れの速度は試験機関ごとに異なる。検討の結果、hot plate側では35℃とし、空気が流れている側では、25℃、相対湿度65%とすることとした。

・報告書には、どのような値を記入すべきか。Randolphによるresistance valueを記入すべきか、thermal insulation (clo)とpermeability index (im)を記入すべきか。ASTM D 1518とDIN 54 101 T 01-Aによることとした。

その後、total heat lossの定義を決めた。標準試験片と試験装置の校正法を決めた。ラウンドロビン試験を行ったところ、各機関からの結果は近い値となっていた。透湿性の試料の値と非透湿性の試料の値は明らかに異なっていた。

作業部会で作成したdraftはNFPA1971の1991年版の付録にはいった。（なお、NFPA1971の2000年版には、Total heat loss試験が正式に収録されている）

さらに試験を行う際の注意点として以下のことをあげている。

・過酷ではない条件（温和な環境下、軽い運動をしている場合）で素材の性能に差がでれば、熱ストレスに影響することが期待できる。

・過酷な条件（高温環境下、激しい運動をしている場合）では、素材を変えても、耐えられる時間が伸びることは期待できない。

・熱ストレスを減少させるために、素材を変える以外のことも考慮すべきである。例えば、cool vestは、熱ストレスを減少させるための実用的かつ経済的な方法である。

guarded sweating hot plate methodによる結果と、消防士が実際に防火服を着用した際の快適性と熱ストレスの関係について調べられている。Barkerら[47]は温和な環境(温度21℃、相対湿度65%)での結果について、Myhreら[48]は温暖な環境(温度39℃、相対湿度35%)での結果について報告している。

Carter[49]、Makinenら[50]、HuckとMcCullough[51]、FrimとRomet[52]は、防火服を着て運動したときと、防火服を着ないで運動したときの心拍数と体内温度を比較した。

Makinenら[50]は、防水透湿層(Gore-Tex製)がある防火服と、防水透湿層がない防火服の生理的負担について調べた。8人の消防士が防火服を着用し、消防活動を模擬した激しい運動(熱環境室内において、高温、高熱流束下でトレッドミル上を歩く)を行う。その際の生理的負担(EGC、心拍数、体内温度、皮膚温度、発汗量)を測定した。快適性に関する感想も聴取した。防火服は新品と、訓練に使用した後洗濯したものを使用した。さらに発汗サーマルマネキンも使用した。

・防水透湿層がある防火服と、防水透湿層がない防火服はどちらも十分に厚手だったので、熱的な負担がどちらも大きく、汗は蒸発しなかった。

・体温は防水透湿層がある防火服の方が高かった。

・新品と、訓練に使用した後洗濯したものの差は認められなかった。

---

47) Barker. R., Myhre, L., Scruggs, B., Shalev, I., Prahsarn, C, and Miszko, T., "Effect of Measured Heat Loss through Turnout Materials on Firefighter Comfort and Heat Stress. Part I: Performance in a Mild Environment," Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 27" Century: Seventh Volume, ASTM STP 1386, C. N. Nelson and N. W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.

48) Myhre, L., Barker, R., Scruggs, B., Shalev, I., Prahsarn, C.. and Miszko, T., "Effect of Measured Heat Loss through Turnout Materials on Firefighter Comfort and Heat Stress. Part II: Performance in a Warm Environment," Performance of Protective Clothing: Issues and Priorities for the 21" Century: Seventh Volume, ASTM STP 1386, C. N. Nelson and N. W. Henry. Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken. PA, 2000.

49) Carter, J.B., "Heat Stress and Fire Fighting", Fire Fighting in Canada, Vol. 40, No. 10, December, 1996, pp. 28-29.

50) Makinen, H., Ilmarinen, R., Griefahn, B., and Kiinemud, C., "Physiological Comparison of Fire fighter Turnout Suits With and Without a Microporous Membrane in the Heat," Performance of Protective Clothing: Fifth Volume, ASTM STP 1237, J. S. Johnson and S. Z. Mansdorf, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1996, pp. 396-407.

51) Huck, J., and McCullough, E.A., "Fire fighter Turnout Clothing: Physiological and Subjective Evaluation," Performance of Protective Clothing: Second Symposium, ASTM STP 989, S. Z. Mansdorf, R. Sager, and A.P. Nielson, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1988. pp. 439-451.

52) Frim, J., and Romet, T. T., "The Role of the Moisture/Vapour Barrier in the Retention of Metabolic Heat During Fire Fighting," DCIEM Report No. 88-RR-40, Defense and Civil Institute of Environmental Medicine, Toronto, ON, 1988.

・発汗量、熱的な不快感は、防水透湿層がある防火服の方が大きかったが、統計的な有意差は認められなかった。

・発汗サーマルマネキンを使用して測定したcorrected thermal insulation (Itorr)とwater vapour permeability (Me)の値は、防水透湿層がない防火服の方が高かった。

FrimとRomet[52]は、透湿防水層の材質とデザインにより、防火服を着用した消防士の熱に関連した生理的負担が変化することを示した。

Dukes-Dubosら[53]は防火服の換気について調べた。男性の形状のマネキンに防火服を着用させ、上着の袖、ズボンの折り返し、襟と胸元を開けた際における、腕、胸、背、脚、股からの換気量を測定した。以下のことがわかった。

・襟と胸元を開けると、胸からの換気量は増えるが、腕と背からの換気には影響しない。

・上着の袖を開けても、腕の換気への影響は小さい。

・ズボンの折り返しを開けると、脚と股の換気量が大きく増えた。

・ベルトの代わりにズボンつりを使用すると、背と脚と股からの換気量が増えた。

Vehte[54]は化学防火服を着用した際の生理的負担について様々な環境におけるフィールド試験により調べた。

（5）防火服の設計、選定

耐熱防火服に望まれる特性に関しては、Krasny[55]が優れた総説をまとめている。

消防用防火服を設計する際の注意すべき点についてVeghte[56][57]がまとめている。

消防用防火服を選定する人がそのために必要な知識を得られるように、Fornell[58]が消防用防火服全般に関する解説を書いた。その内容は、

・1940年代以降の米国における防火服の改良の歴史

---

53) Dukes-Dubos, F. N., Reischu, Buller, K., Thomas, N. T., and Bernard, T. E., "Assessment of Ventilation of Fire fighter Protective Clothing," Performance of Protective Clothing: Fourth Volume, ASTM STP 1133, J. P. McBriarty and N. W. Henry, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1992, pp. 629-633.

54) Veghte, J. H., "The Physiological Strain Imposed by Wearing Fully Encapsulated Chemical Protective Clothing," Chemical Protective Clothing Performance in Chemical Emergency Response, ASTM STP 1037, J. L. Perkins and J.O. Stull, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1989, pp. 51-64.

55) Krasny, J. F., "Some Characteristics of Fabrics for Heat Protective Garments," Performance of Protective Clothing: First Volume ASTM STP 900, R. L. Barker and G. C. Coletta, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1986, pp. 463-474.

56) Veghte, J. H., Firefighters' Protective Clothing: Design Criteria, Second Edition, Lion Apparel, Dayton, OH, 1988.

57) Veghte, J. H., "Functional Integration of Firefighters' Protective Clothing," Performance of Protective Clothing: First Volume ASTM STP 900, R. L. Barker and G. C. Coletta, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1986, pp. 487-496.

58) Fornell, D. P., "Understanding Turnout Technology," Fire Engineering, Vol. 145, No. 6 (June 1992), pp. 105-113.

・防火服の耐熱性の向上とそれによる熱ストレス
・熱ストレスを減らすための方法 - static loading (防火服の重量)の減少
・熱ストレスを減らすための方法 - dynamic loading (防火服を着た際の歩きにくさ、動きにくさ)の減少
・防火服の素材 - shell (外側の耐火・耐熱層)、moisure barrier (防水透湿層)、thermal liner (断熱層)に用いられる素材の性質
・購入しようとしている防火服が購入を希望している消防署の要求事項を満たしているかどうかの確認の方法である。

消防機関が防火服などの個人保護具を購入する際の手順、注意点について、Pompe[59]がPhiladelphia消防局での経験を元にまとめている。その主な内容は、

・自己の消防機関がどのような防火服を求めているかを知る。そのために、
　自己の消防機関の消防士に対し、現在使用している防火服について意見を求めること
　他の消防機関にどのような防火服を使用しているかを尋ねること
　自己の消防機関で発生した傷害の統計を分析すること
　NFPAの規格を読み、最低限必要な性能を知る
・選考の過程
　担当者は防火服の業者、業界について詳しくなること
　自己の消防機関の規模、場所、気候、戦術、遭遇する火災の種類などから必要とされる熱防護性を決めること
　field試験の計画をよく練ること
　自己の消防機関の構成員、外部の機関、製造業者などから情報を集め、適切な素材を選定すること
　できれば、複数の業者を参加させ競わせること
　仕様書を作成すること

である。

Rotmann[60]は、防火服に関する文献調査を行った。その結果をもとに、消防機関が防火服などの個人保護具を購入する過程で参考になる文献を紹介している。

防火服が体に合っているかどうかは重要な点である。防火服が体に合っていないと、防火服は性能を出せないからである。例えば、袖の長さが合っていないと手首を十分に保護できないし、また、裾の長さが合っていないと足首を十分に保護できない。靴や手袋についても同様である。

消防用防火服、個人保護具は、長い間、男性が使用することを想定して製造されてきた。女性消防士のなかには、体に合わない防火服や個人保護具を使わねばならないもの

---

59) Pompe, A.E., "Purchasing Personal Protective Equipment," Fire Engineering, Vol. 149, No. 11 (Nov., 1996), pp. 73-77.
60) Rotmann, M. F., "Selection and Development of Protective Clothing for Fire fighters," Performance of Protective Clothing: Fourth Volume, ASTM STP 1133, J. P. McBriarty and N. W. Henry, eds., American Society forTesting and Materials, West Conshohocken, PA, 1992, pp. 885-893.

もいる。女性に合った防火服、個人保護具を製造するための資料とするために、Stirlingは英国の女性消防士から志願者を募り体型を測定した[61)]。その過程で防火服、個人保護具の大きさに関して女性消防士が抱えていた悩みも明らかになってきた。

女性は妊娠すると体の大きさが変化する。そのため、妊婦の体型の変化に合わせて防火服を用意する必要がある。さもないと、体型に合わない防火服を着用し、本来防護できたはずの皮膚が暴露されるかもしれない。しかし、妊婦の体型に合わせた防火服は非常に少ない。妊婦用の防火服を製作するための資料とするために、Manley[62)] は妊婦の体型の変化を測定した。妊娠前の服の大きさが10、12、14であった女性について、妊娠後5ヶ月、7ヶ月、9ヶ月に体型を測定した。

快適性と防護性能の間の二律背反についてSlater[63)] がまとめている。

（6）化学防火服の選定

一般に、化学防火服は耐熱性を第一に考えて設計されているわけではない。消防士が化学物質の火災に対処する際にこの点は問題になる。この件については、ASTMの文献[64)] が参考になる。

通常の防火服の耐薬品性も重要である。消火活動中に化学薬品の暴露をうけることもあるし、化学物質を使用したテロ行為に対処しなければならないこともある。

（7）防火服の内部における熱移動のモデル化

防火服の物性値から、加熱を受けた際の防火服の温度変化が計算できれば、防火服の性能評価に有用である。また、皮膚のモデルと組み合わせることで、着用している消防士が火傷を受けるかどうかの予測も可能になる。

1） NISTのモデル

NISTでは、外部から加熱を受けた際の防火服表面と内部の温度変化を計算するためのモデルを開発した[65)]。このモデルでは、

防火服は、三層構造(shell、防水透湿層、liner)からなる、

防火服は乾燥している、

防火服が溶融、分解を起こすほどは温度上昇しない、

としている。

一般的な防火服について、0.25 kW/cm^2(一般的な建物火災で活動している消防士が受

---

61) Chamberlain, S., "How does PPE for women measure up?," FIRE INTERNATIONAL, No. 199 (2002), pp. 20-21.

62) Manley, J. W., "Protective Clothing Sizing Considerations for Pregnant Women," Performance of Protective Clothing: 6th Volume, ASTM STP 1273, J. O. Stull and A. D. Schwope, eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1997, pp. 293-302.

63) Slater, K., "Comfort or Protection: The Clothing Dilemma," Performance of Protective Clothing: Fifth Volume, ASTM STP 1237, James S. Johnson and S. Z. Mansdorf, Eds., American Society for Testing and Materials, 1996.

64) J. L. Perkins and J. O. Stull, eds., Chemical Protective Clothing Performance in Chemical Emergency Response, ASTM STP 1037, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1989.

65) Mell, W. E. and Lawson, J. R., "A Heat Transfer Model for Firefighters' Protective Clothing", Fire Technology, Vol. 36 (2000), pp. 39-68.

ける値)の熱放射を受けた際の温度変化を計算した。

2） ICARUS

英国AEA社が、熱放射を受けた際に2度火傷になるのに要する時間を計算するためのコンピュータプログラムを開発した[66]。ICARUS(Injuries CAused by Radiation Upon the Skin)という名である。プログラムは3個のモデルからなる。

伝熱に関するモデル

放射熱により生じる繊維と皮膚の温度の時間変化を計算する

繊維の熱に対する応答に関するモデル

温度の上昇による繊維の性質の変化を計算する

繊維が水分を含んでいる場合も考慮されている

繊維の収縮、溶融、熱分解も考慮されている

火傷の予測に関するモデル

皮膚の温度の時間変化から、火傷になるのに要する時間を計算する

Henriques damage integral[67] を使用する

4～100 kW/m^2の熱流束を加えた際の、2度火傷になる時間を計算し、Mehtaら[68]、Stollら[69]の値と比較したところ良い一致を示した。

（8） あとがき

本文献調査の中で引用している試験名、規格の番号などは、引用した論文中の記載をそのまま書き写したものである。現在では、変更されているものもある。

本文中では内容を紹介しなかったが、参考になる資料として、文献[70] [71] をあげることができる。Fire & Rescue誌には消防用個人保護具に関する解説記事(J. O. Stullが執筆している)が毎年掲載されている。また、消防用個人保護具の広告も掲載されているので海外の動向を知る上で参考になる。

---

66) Bamford, G. J. and Boydell, W., "ICARUS: A Code for Burn Injury Evaluation," Fire Technology, Vol. 31, No. 4 (1995), pp. 307-335.

67) Henriques, F. C., "Studies of Thermal Injury", Archives of Pathology, Vol. 43, pp 489-502, 1947.

68) Mehta, A. K., and Wong, R, Measurement of Flammability and Burn Potential of Fabrics, Project DSR 73884 [NTIS:COM-73-10960], M.I.T., February, (1973).

69) Stoll, A. M., and Greene, L. C., "Relationship Between Pain and Tissue Damage Due to Thermal Radiation," Journal of Applied Physiology, Vol. 14, No. 3, pp. 373-382, (1959).

70) CSIRO, "Seminars on FIREFIGHTER'S CLOTHING AND HEAT PROTECTION", Fire Safety Journal, 4(2), pp. 77-137(1981)

71) Teele, B. W. and Foley, S. N., "Fire service protective clothing and protective equipment", NFPA Handbook, Chapter 10-18, NFPA, 1997.

1.2.2　ISO/ASTM 関連規格および JICST 文献調査

消防用防火服の性能として、耐熱性だけでなく、快適性、機能性が要望されている。

日本においては、消防隊用防火服の性能要求基準が ISO 規格を基に出来上がる状況になってきているが、快適性や機能性についての評価基準は未だ定められていない。

今回、消防用防火服の快適性能・機能性能に関する文献調査を行った。

（1） ISO/ASTM 関連規格

消防用防火服の快適性能・機能性能については ISO（国際標準化機構）でも未だ検討段階にあるが、快適性評価に関連した繊維製品の熱抵抗、蒸発抵抗の測定試験方法の規格として、ISO 11092、ASTM F 1868-98 がある。

これら規格の番号、名称を、参考のため入手した他の規格と併せて、表 1.2.2.1 に示す。

表 1.2.2.1　ISO/ASTM 関連規格

規格 No.	規格名（原文）	規格名（和訳）
ISO 9920 : 1995	Ergonomics of the thermal environments—Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensumble	温熱環境の人間工学 － 着衣の断熱性と透湿抵抗の評価
ISO11399:1995	Ergonomics of the thermal environments–Principal and applicaiton of international standards	温熱環境の人間工学 － 国際規格の思想と適用原理
ISO 11612 : 1998	Clothing for protection against heat and flame---Test methods and performance requirements for heat-protective clothing	防火服用 － 試験方法及び必要性能
ISO 11613 : 1999	Protective clothing for firefighters---Laboratory test methods and performance requirements	消防服用 － 研究室用試験方法及び必要性能
ISO 15538 : 2001	Protective clothing for firefighters---Laboratory test methods and performance requirements for protective clothing with a reflective outer surface	消防服用 － 反射外面を有する防火服の研究室用試験方法及び必要性能
ISO 11092 : 1993	Textiles--Physiological effects---Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)	繊維製品 － 生理的影響 － 定常的条件における耐熱性及び耐水蒸気性の測定（発汗保護－ホットプレートテスト）
ASTM F1868:98	Standard Test Method for Thermal and Evaporative Resistance of Clothing Materials Using a Sweating Hot Plate	発汗ホットプレートによる衣類の耐熱性及び耐蒸気性試験方法

（２） ASTM 文献

ASTM ((米)材料試験協会) から出版されている「Performance of Protective Clothing, Vol.7th, Issues and Priorities for the 21st Century」(July, 2000) から、快適性に関連した文献を抽出した。

表 1.2.2.2 に、概要を示す。

表 1.2.2.2 ASTM 文献の概要

	タイトル	著者名	概要
①	Field Evaluation of Protective Clothing Effects on Fire Fighter Physiology:Predictive Capability of Total Heat Loss Test （消防士の生理機能に及ぼす防火服効果のフィールド評価：全熱損失試験の予測能）	Stull,J.O. Duffy,R.M.	7 人の消防士対象に、全熱損失が 96.5W/㎡～439W/㎡の 7 種の材料の異なる防火服を使用して、運動時の生理学的影響(直腸温度、皮膚温、心拍数、体重減少)を測定した。関係分析の結果、全熱損失の値が、生理学的反応のうちの直腸温度、皮膚温、体重減少と一義的に相関があることが分かった。心拍数との相関は認められず、個人差の影響が大きい。また、消防士の主観的反応は、湿気感を除けば防火服の重量によって左右される。
②	Thermal Protective Performance and Comfort of Wildland Firefighter Clothing:The Transport Properties of Multilayer Fabric Systems （森林消防士用防火服の熱防護性と快適性：多層布システムの移動特性）	Yoo,H.S. Sun,G. Pan,N.	著者らは先に、各種の布サンプルについて、放射熱防護性、熱抵抗、通気性、放湿性、耐久性などの断熱特性、移動特性、機械特性全般の実験比較を行った。今回、これらの布の多層布について移動特性等を測定し、単層布との比較を行った。その結果、布の断熱性に関しては単層布の場合と同様に厚さと重量が最も大きなファクターであること、全熱抵抗は全体の厚さと相関があること、通気性の予測には逆数加算則が適用できることが分かった。放湿性については、メカニズムが複雑であり、特性を予測するためにはさらに高度なモデルが必要である。
③	Effect of Measured Heat Loss through Turnout Materials on Firefighter Comfort and Heat Stress.Part 1:Performance in a Mild Environment （消防士の快適性と熱ストレスに及ぼす消防服の熱損失の影響。第 1 部：温和環境における性能）	Barker,R. Myhre,L. Scruggs,B. 他	7 人の消防士対象に、穏やかな環境（21℃、RH65%）において中程度の作業活動を行い、発汗ホットプレート試験での伝熱と消防用防火服の実際の快適性・熱ストレスとの関係を研究した。穏やかな環境下で作業負荷が小さい場合は、通気性の如何にかかわらず生理的熱ストレスは限界には達せず、直腸温、心拍数とも大きな差異は認められなかった。発汗ホットプレート試験での熱損失が、消防服の快適性と相関関係がある。
④	Effect of Measured Heat Loss through Turnout Materials on Firefighter Comfort and Heat Stress.Part Ⅱ:Performance in a Warm Environment （消防士の快適性と熱ストレスに及ぼす消防服の熱損失の影響。第 2 部：暑熱環境における性能）	Myhre,L. Barker,R. Scruggs,B. 他	上記と同じ消防士により、暑い環境（39℃、RH35%）において中程度の作業活動を行い、発汗ホットプレート試験での伝熱と消防用防火服の実際の快適性・熱ストレスとの関係を研究した。全熱損失が 97W/㎡の場合、熱ストレスや主観的快適性の性能が悪かった。146W/㎡から 251W/㎡の間では優意差は認められない。

（３） JICST 文献調査

科学技術振興事業団の JICST ファイルから、消防用防火服の快適性、機能性に関連する文献を検索した。

検索条件は、次の通り。

・検索式：[防火服＋消防服＋（防火服+装具+防護衣）＊（消防＋消防員＋消防士)]
＊［機能性＋快適性＋人間工学＋エルゴノミクス＋ヒートストレス＋軽量化
＋衣服内気候＋透湿性＋透気性＋発汗＋通気性＋作業性＋活動性＋透湿性
＋放熱性]

これら 58 件のうち、1999 年以降の最新文献 16 件につき、その概要をまとめて、**表 1.2.2.3** に示す。

表 1.2.2.3　JICST 最新文献の概要

<table>
<tr><th></th><th>タイトル</th><th>著者名</th><th>誌名</th><th>概要</th></tr>
<tr><td>①</td><td>着用実験による消防士装具のヒートストレス評価</td><td>生野晴美
他</td><td>日本衣服学会誌,
Vol.46,No.1,11
(2002)</td><td>消防士装具 4 種について、着用実験によって、生理的指標と温熱的着用感によって人体への温熱負荷を測定した。装具を着用して運動した場合、平均皮膚温、外耳道温、脈拍数とも上昇し、被験者も暑く耐えられないという着用感を申告した。4 種で数値変化は異なり、素材の異なる消防士装具のヒートストレスを評価できた。</td></tr>
<tr><td>②</td><td>頭部冷却による消防士装具のヒートストレス改善</td><td>物部博文
他</td><td>日本生理人類学会誌, Vol.7,No.3,123
(2002)</td><td>消防士装具のヒートストレス緩和のため、運動負荷後の消防士に対し、冷却剤による頭部冷却と送風ファンによる頭部送風を行い比較実験した。頭部送風装置を用いた方が平均皮膚温、外耳道温ともに効果が大きく、その制御も可能である。</td></tr>
<tr><td>③</td><td>消防士装具のヒートストレス改善方法について－衣服内換気と頭部送風の効果－</td><td>村山雅己
他</td><td>日本家政学会大会研究発表要旨集,
Vol.54th,187
(2002)</td><td>消防士装具のヒートストレス改善のため、電動ファンによる上衣服内換気、ヘルメット内送風による実験を行った。それにより、皮膚温上昇が抑制されることが確認された。</td></tr>
<tr><td>④</td><td>消防士装具のヒートストレス改善に関する研究－冷却剤による体幹部冷却が人体に及ぼす影響についての検討－</td><td>物部博文
他</td><td>日本生理人類学会誌, Vol.7,No.1,43
(2002)</td><td rowspan="2">4 人の消防士を対象に、運動後の頚部、大腿後部の皮膚温度及び、衣服・ヘルメット内の温度を測定した。背中ポケットの冷却剤収納はほとんど効果がないこと、襟元開放は実質的な体温抑制効果はないことがわかった。部分冷却は冷却部位の血管収縮による血液抑制に伴い、体内の熱移動も抑制され頭部の蓄熱増大の可能性が示唆される。</td></tr>
<tr><td>⑤</td><td>消防士装具のヒートストレス改善に関する研究</td><td>物部博文
他</td><td>日本家政学会大会研究発表要旨集,
Vol.53rd,194
(2001)</td></tr>
<tr><td>⑥</td><td>In the Line of Fire.
（火災の中で）</td><td>Pelc C E</td><td>Nonwovens Ind,
Vol.32,No.4,34
(2001)</td><td>北米における不織布を用いた防火服の開発状況と不織布製造業者の取り組みを紹介。軽量・快適な新製品として、呼吸する微細孔をもつフィルムと不織布の積層布について述べた。</td></tr>
<tr><td>⑦</td><td>Military Textiles:To Serve and Protects.（軍用衣服）</td><td>KEARNS
G</td><td>Can Text J,
Vol.118,No.1,8
(2001)</td><td>カナダの保護衣(軍隊、警察、消防隊、レスキュー隊用)について述べた。機能性繊維として、DuPont 社の Kevlar,Nomex,Tyvek,Coolmax を紹介した。</td></tr>
<tr><td>⑧</td><td>Development of a Cooling Garment with Encapsulated PCM
（カプセル化 PCM を用いた冷却衣服の開発）</td><td>CALVIN
D P
他</td><td>ASME HTD,
Vol.368,141
(2000)</td><td>高熱ストレス条件での快適性を改良した軽量かつウィッキングと透気性のあるパッシブ冷却衣服をマクロ PCM を用いて開発。このマクロ PCM に用いたパラフィンは固体から液体への融解潜熱が高いため、長期蓄熱と快適な 25～28℃が得られる。</td></tr>
</table>

⑨	消防活動における熱中症予防対策の研究	町田広重 他	消防科学研究所報, No.37,110 (2000)	4人の消防士対象に、人工的な高温環境下において消防装具を着用して運動を行い、身体への影響を分析した。熱中症の発生危険度には、年齢、体力、耐暑能力、体調が影響する。熱中症予防のため、冷却ベストの着用、防火帽離脱・防火服の上衣前面開放が有効である。
⑩	消防用長靴の補強装具に関する研究開発	野村敏幸 他	消防科学研究所報, No.37,50 (2000)	消防用長靴の補強装具の中敷・足甲プロテクタに関する試験・調査。1)補強装具装着により、踏み抜き防止性能、衝撃緩和性能向上、2)消防士への実施調査により、中敷についての活動性、使用感への悪影響無し。
⑪	Cardiorespiratory and thermoregulatory response of working in fire-fighter protective clothing in a temperate environment. （温和な環境において消防士用防火服を着て作業するときの心肺および体温調節応答）	BAKER S J 他	Ergonomics, Vol.43,No.9,1350 (2000)	消防士、元消防士18人を対象に、消防士装具装着時と軽装のときのトレッドミル歩行中の心拍、直腸温度、最大酸素摂取量等を測定。心拍数、直腸温度は上昇し、不快感は高かったが、危険レベルには達しなかった。
⑫	Radiant Protective and Transport Properties of Fabrics Used by Wildland Firefighters. （森林消防士により使用される布の熱防護と移動特性）	SUN G 他	Text Res J, Vol.70,No.7,567 (2000)	アラミド、モダクリル、ポリイミド及び耐火性綿繊維で作られた布の熱防護性能、耐熱性、空気透過性、水分蒸発性を実験評価した。単層布の熱防護性は構造、重量、厚み、素材により影響を受ける。快適性能と密接に関係する布の移動特性は通気性、耐熱性、水分蒸発性の組み合わせを反映する。
⑬	Specer fabrics with specific protective characteristics. （特殊な防護特性を持つスペーサ布）	HEIDE M 他	Melliand Textilver Int Text Rep Ger Ed,Vol.81,No.6, 124 (2000)	2枚の編地が中間に隙間をもって一体となった三次元ニットのニットスペーサは、保温効果、断熱効果、通気性がある。最終用途向けに選択したスペーサ布の燃焼試験、被服生理学的挙動について述べる。実験の結果、この難燃性ニット・スペーサは、難燃性が優れるだけでなく、耐圧縮性能、湿気伝達性、温度調節性能も優れており、消防服としても、医療用マットレスカバーとしても使用できることが分かった。
⑭	Protective clothing, fabrics & fibres for industry. （防火服、その布地及び繊維）	STULL J	Ind Fire J, No.38,85 (2000)	消防用防火服を構成する材料選択の際に参考とすべき事項についての解説。防湿層、断熱層材料の使用、防火服のデザインも重要である。防火服用繊維や布地の最近の進歩も紹介する。
⑮	The Protection Market. TextileProductsfor Protective Garments. （防護市場　防火服用の繊維製品）		Can Text J, Vol.117,No.1,22 (2000)	防火服用ハイテク繊維の紹介。DuPont 社の Kevlar,Nomex,Tyvek 繊維の開発経緯と特性を概説。カナダにおける防火服開発の現状を紹介。防火服開発の諸条件を指摘。防火服及び用具の製品特性について紹介。
⑯	機能性素材・加工　次世代スーパー繊維「ザイロン」	一柳隆治	加工技術, Vol.34,No.9,556 (1999)	東洋紡績㈱の開発したPBO繊維「ザイロン」の基本物性、織物の物性及びその耐切創性を紹介。引張破断強度、引張初期弾性率が高く、耐熱性、難燃性が高い。

（4） 文献調査結果の要約

ASTM 文献、JICST 最新文献をもとに、消防用防火服の快適性、機能性に関する性能評価項目を各ステージごとに纏めて、表 1.2.2.4 に示す。

表 1.2.2.5 には、ICEE 2002（第 10 回国際環境人間工学会；2002 年 9 月 23～27 日）において報告があった消防用防火服の快適性、機能性に関連する発表 9 件（口頭発表 7 件、ポスター発表 2 件）の内容も参考にして纏めている。

表 1.2.2.4 消防用防火服の快適性能・機能性能性評価項目

	評価項目	出典
(1) 発汗ホットプレートによる防火服生地の性能評価	・全熱損失（熱抵抗寄与分+蒸気抵抗寄与分） ・熱抵抗 ・蒸気抵抗（透湿抵抗）	・ASTM① ・ASTM③ ・ASTM④ ・ICEE⑦
(2) 発汗マネキンによる防火服の性能評価	・熱抵抗 ・蒸気抵抗（透湿抵抗）	・ICEE⑥
	・全熱損失 ・マネキン平均皮膚温 ・発汗時の衣服断熱性変化	・ICEE⑨
(3) 消防隊員の環境試験室試験による防火服の性能評価	・生理学的反応 （直腸温、食道温、耳道温、皮膚温、皮膚湿度、心拍数、心拍出量、一回拍出量、平均動脈圧、前腕血流量、血漿量、血中乳酸濃度、血圧、心電図、発汗量(体重変化)、O_2消費量、CO_2産生量) ・消防服の重量変化 ・消防服内温 ・主観的評価（全般的快適性、暑さ感、湿気感、重さ等)	・JICST① ・JICST② ・JICST③ ・JICST④ ・JICST⑤ ・JICST⑨ ・JICST⑪ ・ASTM③ ・ASTM④ ・ICEE① ・ICEE④ ・ICEE⑤
(4) 消防隊員のフィールド試験による防火服の性能評価	・生理学的反応 （直腸温、皮膚温、心拍数、体重変化) ・衣服の重量変化 ・主観的評価（全般的快適性、暑さ感、湿気感等の快適性 ； 動きやすさ、着脱のしやすさ等の機能性)	・ASTM①*

*但し、室内訓練場。

なお、防火服の特性（材料及び構成）と消防士の反応（生理学的及び主観的）の相関については、以下の通りである。

・全熱損失(W/㎡)が、生理学的反応のうちの直腸温、皮膚温、体重減少(発汗量)と相関がある。心拍数との相関は認められず、これは個人差の影響が大きい。消防士の主観的快適性*は、湿気感を除けば、防火服の重量によって左右される。(ASTM①)

*主観的快適性：全般的な着用の快適性、暑さ、湿気感、重さ、柔軟さ、疲労度。

・温和環境（21℃、RH65%）及び暑熱環境（39℃、RH35%）での中程度の作業活動では、発汗ホットプレート試験での全熱損失が最も小さい 97W/㎡の場合に、生理学的反応（熱ストレス、特に皮膚温の上昇）及び主観的評価（暑さ感、湿気感）での悪化が有意で認められる。(ASTM③、④)

表 1.2.2.5 ICEE2002（抜粋）消防用防火服の快適性、機能性に関連する発表

(The 10th International Conference on Environmental Ergonomics ; Sept. 23-27, 2002)

	(発表機関) 研究者名	発表題目	概要
①	(SINTEF Unimed, Norway) Saudsund,M., Reinertsen,R.E (Pyrosec AS, Norway) Winnberg,S., Finseth,H.W., Fossli,G.O.	Evaluation of test protocols for smoke-divers working in the heat **暑熱環境で作業する消防士のための試験プロトコル評価**	消防活動においては、暑熱環境下での作業負荷により、生理学的および心理的ストレスが生じる。消防士の生理学的・心理的ストレスに関する研究は最近になってようやく始まったばかりだが、これらのストレスは消防士の安全な消火活動の遂行に深くかかわっている。消防活動は過酷な肉体作業で、日頃からのトレーニングが重要であり、消防士のトレーニングに使用する実際的なプロトコルの開発を目的として、種々の試験プロトコルについて評価した。 <方法> チャンバー内での、歩行試験（トレッドミル検査；8分）および実作業模擬試験（Pyrosec 試験；22-35 分）。温度：50、100、130℃。測定項目は、直腸温（T_{re}）、皮膚温（T_{sk}）、心拍数（f_c）、血中乳酸濃度（$[la^-]_b$）、血圧（BP）、主観的運動強度（RPE）。 <結果> 高温、長時間ほど直腸温（Tre）、皮膚温（Tsk）の上昇、心拍数（fc）の増加、収縮期血圧の低下が見られた。特に、130℃での Pyrosec 試験後に顕著であった。これらの生理学的測定は、消防士が自身の安全に注意し、自分の限界を認識して理性的に行動する能力にとって重要なファクターが何であるかを理解する上で、今後、役立つと思われる。
②	(University of Portsmouth, UK) Eglin,C., Dalzell,J., Tipton,M.J. (Department of Transport and	Can fire-fighter instructors perform a simulated rescue after a hot fire training execise? **消防インストラク**	消防士は過酷な熱負荷に曝されており、それに加えて、着用している防火服が身体からの熱放散を妨げている。消火訓練中の消防士や訓練生での、心拍数の増加や深部体温の上昇が報告されている。しかし、消火訓練時のインストラクターの生理学的特性変化についての研究は少ない。インストラクターは訓練を繰り返し行うため、実習生よりも長時間にわたって高温に曝されている。訓練中の安全に責任をもつインストラクターが、訓練中の実習生の救助を遂行できるのかについての調査を行った。 <測定項目> 直腸温（Tre）、胸部皮膚温（Tsk）心拍数（HR）、

	Local Regions, UK) Coles;S.	**ターは消火訓練後の模擬救助を行うことができるか？**	消防服内温度（Tμ）、消防服外側温度（Tt)、発汗による体重減少、血中乳酸濃度、主観的運動強度（RPE)。 ＜結果＞ すべてのインストラクターが訓練後にも救助活動を遂行することができた。しかし、消防服内温度（Tμ）の一時的な急上昇（114℃）など、懸念もある。
③	（ Swedish Defence Research Agency, Sweden) Ulf,D., Ulf,B. （ Stockholm Rescue Service, Sweden) Henri,L.	Physical load and performance. Effects of age and experience on rescue services' tasks **身体にかかる負荷と遂行能力 - 救助 活動に及ぼす年齢と経験の影響**	救助活動に携わっている人々の高年齢化が、多くの国で進んでいる。スウェーデンの消防署のほとんどで平均年齢は40歳以上であり、部署によっては50歳を超えているところもある。高齢化の状況、また新人採用の面から、消防活動を遂行する際に年齢、経験、身体的能力がどのように影響しているかを調べることは重要である。また、女性応募者の数が増加している点も考慮しなければならない。 ＜チーム編成＞ 現役消防士Ⅰ（平均年齢29歳)、現役消防士Ⅱ（平均年齢41歳)、現役消防士Ⅲ（平均年齢51歳)、消防志願者（平均年齢27歳)、女性（平均年齢22歳)。 ＜試験作業＞ ①ホース・コンパートメント運搬 ②ホース接続 ③救助 ④収納 ＜測定項目＞ 各作業に要した時間とトータル時間、心拍数、RPE、身体計測（手のひらサイズ含む) ＜結果＞ 年配の消防士の方が若い消防士より経験が豊富で身体能力の低さをカバーできると期待されたが、そうではなかった。若い現役消防士Ⅰが、タスクを最も迅速かつ上手に完了した。消防経験がない志願者チームは、現役消防士Ⅰとほとんど同じ結果を出した。新人スタッフは、任務についてから短時間で最高の結果を生み出せると考えられる。年配の消防士と女性は、様々な救助活動に要求される身体的能力に問題がある。年齢が上がるにつれて、より能力が低下する傾向にあり、救助活動には支障をきたすことになるであろう。

④	(University of Wollongong, Australia) Fogarty,A., Armstrong,K.A., Gordon,C.J.,Groeller,H., Taylor,N.A.S. (New South Wales Fire Brigades, Australia) Woods,B.F. (Eli-Lilly Australia Pty. Ltd.) Stocks,J.M.	Thermal protective clothing and cardiovascular function **耐熱防火服と心血管機能の関係**	耐熱防火服の主たる目的は過酷な作業環境における熱負荷を最小限に留めることであるが、このような防火服はまた、代謝率を上げ、熱放散を妨げることによって生理学的負荷を増大させることになる。防火服の設計においては、生理学的側面からの仕様を決定する前に、防火服の着用がもたらす生理学的影響を十分に理解することが必要である。しかしながら、この分野の研究は、ほとんどがフィールド試験であり、心血管機能の変化についてはほとんど調べられていない。ここでは、防火服を着用した場合に、どのような心血管負担が伴うのかを調べた。 <方法> ニューサウスウェールズ州 (NSW) 消防隊使用の防火服を着用した場合とショーツ着用の場合（対照）につき運動試験を実施した。平均深部体温（Tc：食道、耳道、直腸)、心拍数、一回拍出量、心拍出量、平均動脈圧 (MAP)、前腕血流量、血漿量（PV）の変化、発汗量を測定した。 <結果> 防火服着用の方がより短時間で疲労し、Tc はやや高く、総発汗量がかなり多くなったが、PV は同等であった。心拍出量、前腕血流量は、防火服着用で減少しなかった。我々は、高温と負荷で血圧調節に支障をきたすところまで心血管の負担を高めるであろうと予測したが、今回の試験では影響が見られなかった。
⑤	(Korea Institute of Industrial Technology, Korea) Chung,G.S., Lee,D.H.	A study on comfort of the protective clothing for firefighters **消防用防火服の快適性に関する研究**	標準的な消防用防火服は、防炎のアウターシェルと、防水透湿層と断熱層の２層から成るインナー層で構成されている。。韓国の消防士の装備重量は、エアボンベも含めて 20 kg にもなる。作業中に身体から発生する熱と、発汗で生じる湿気が、熱ストレスと肉体的疲労を引き起こす。従って、防護性能と通気性能のバランスをとるように、特に、許容できる断熱性で軽くて通気性のよい防火服の素材と構成を選ぶことが重要である。 本研究では、３層構造の防火服３種類について、生理学的快適性の評価を行った。 アウターシェル（A；Nomex 235 g/㎡）と断熱層（C；Nomex 130 g/㎡）は共通で、防水透湿層（B）だけを変えている。 B1 [PU メンブレン]、B2 [PTFE メンブレン/アラミド不織布]、B3 [PTFE メンブレン/アラミド不織布＋スペーサー] <測定項目> 皮膚温、湿度、発汗損失量、主観的温度・湿度・快適性感覚 <結果> A＋B2＋C の湿気放散性が最も良好であった。A＋B3＋C の防火服では、作業で生じた熱と発汗で生じた水分が長く留まり、それが不快感の原因となっている。

⑥	(Kansas State University, USA) McCullough,E., Shim,H. (North Caronina State University, USA) Barker,R. (Navy Clothing and Textile Research Facility, USA) Giblo,J. (QinetiQ Ltd., UK) Higenbottam,C. (Technical Research Center of Finland, Finland) Meinander,H. (文化女子大学) Tamura,T.	Interlaboratory evaluation of sweating manikins **発汗マネキンの研究室間相互評価**	身体の熱収支モデルと熱的快適性には、衣服の断熱性と透湿抵抗の値が必要である。衣服の断熱性の測定には、実物大のサーマルマネキンが使用されてきた。また、ISO、ASTM、ENなどの規格で、マネキンを使って様々なタイプの衣服を評価するための試験プロトコルが規定されてきている。しかし、発汗マネキンについてはあまりなく、そのデザインと試験方法は、研究室によってかなり差がある。衣服の透湿抵抗測定に関する規格も、未だ作成されていない現状である。 本プロジェクトでは、種々の発汗サーマルマネキンについて研究室間で相互評価を行った。５種類の衣服アンサンブルの全熱抵抗（断熱性）と全透湿抵抗を、６研究室で測定した。 ６研究室は、米国の Kansas State University (KSU)、North Carolina State University (NCSU)、Navy Clothing and Textile Research Facility (NCTRF)、英国の Centre for Human Sciences, QinetiQ Ltd.、フィンランドの Technical Research Centre of Finland (VTT)、日本の文化女子大学 (BWU) である。 <考察> 作業中や暑熱環境下においては、発汗は、身体の熱損失上、大事な作用である。従って、体内から周囲環境への水蒸気の移動に対する衣服の抵抗は熱収支モデルにおいて重要なパラメーターであり、正確に測定する必要がある。本研究の結果では、研究室間での変動幅が比較的大きかった。マネキンの発汗システムを標準化することは困難かもしれないが、試験結果に影響を及ぼす幾つかのパラメーターについては、標準化が可能と考えられる。

⑦	（ W.L.GORE GmbH） Nocker,W., Seibert,J.	Fire fighter garment with non textile insulation **非繊維系断熱素材を用いた消防服**	防火服における真の断熱材は織物ではなく空気である。GORE-TEX® Airlock® は、防水透湿層と断熱層とを組み合わせたものであり、GORE-TEX® 防水透湿層の上の発泡シリコーン層が断熱性のエアバッファーを形成している。ホットプレート法により、同じ熱伝導率で 40%低い水蒸気抵抗性が得られている。消防士の場合のように大量の汗をかくという状況において、Airlock®と組合せた系は従来の繊維系断熱材を組み合わせたものに比べて優れた生理学的性能を持つことが予想され、その検証を試みた。 <測定項目> 直腸温、皮膚温、心拍数、湿度、体重減少、防火服重量増加、暑さ・湿気・快適性感覚。 <結果> GORE-TEX® Airlock® ライナー／Nomex 製ジャケットは、アラミド/GORE-TEX®ライナー／Nomex 製ジャケットやライナー付皮製ジャケット（防水透湿層なし）に比べて、直腸温・皮膚温変化、心拍数、体重減少、相対湿度、暑さ感、湿気感、着心地感が優れており、熱ストレスの軽減が期待できる。この新しいコンセプトにより、同じ断熱レベルを保ちつつそのかさを減らすことができ、また、吸湿性の少なさと水蒸気輸送性の高さによって火傷の危険性も軽減される。さらに、柔軟性に富んでいて軽いので、着心地も向上している。
⑧	（ Comfort Technology, Inc., USA） Goldman,R.F.	The four "Fs" of clothing comfort **衣服の快適性：4つの“F”**	衣服の快適性に関する 4 つの基本要素、「快適性の 4 つの F」とは、Fashion、Feel、Fit、Function である。 ・Fashion（ファッション）：ファッションは、集団の一員として自己認識させるための重要な役割を果たしている。ファッションは、モラルと団結力に富む集団を形づくる上で重要であるとともに識別を容易にする。兵士の部隊に対する緊密な一体感、警察官や消防士の帰属意識、白衣を着たドクターなど、「快適性」の大切な要素である。 ・Feel（感触の良さ）：衣服の感触には、触ったときの「手触り」と、まとったときの「着心地」がある。「着心地」にはいくつか「手触り」の要素が含まれるが、透湿性や皮膚にあたる接触点の数と形状、また吸湿によるそれらの変化も関係している。 ・Fit（フィット性）：フィット性は、ファッションの要素もいくつか含んでいるが、女性のガードルのように快適性とは反対のコンセプトも含まれている。フィット性には感触の要素もあり、素材の特性と皮膚への圧迫感が合わさって気持ち良さが生じると考えられる。その一方で、不快に感ずる圧迫を生じたり、身体の動きを制限したり作業時の負担を増加させるという問題がある。圧迫を最小にすることによってフィッ

			ト性と機能性を改善した例に兵士用防護ベストがあるが、それは特別にデザインされた負荷プロファイル分析装置を用いて開発された。 ・Function（機能性）：衣服の役割の一つは、望ましくない熱受容もしくは熱損失に対する防護である。ある場合には、敵に発見されるのを防いだり、火傷や弾丸に対する防護が不可欠である。しかし一方で、特定の脅威に対する防護性能を大幅に向上したことによって、着用者に降りかかるリスクが却って高まっているという報告もある。例えば、最新の消防服は防護性能が改善され、消防士はそれまでは回避したような場所にも入り込んで行く。消防士の火傷や死亡率が過去数年間に増えた事実は、このことで説明できる。同様に、兵士も防火服の性能が向上したことによって一層攻撃的になっているが、一方で、防火服が動きを妨げて機動性が失われ、敵の標的になりやすくなっているという問題もある。
⑨	(The Hong Polytechnic University, Hong Kong) Fan,J., Chen,Y.S. (Fashion Institute of Donghua Uuniversity) Zhang,W.	Comparison of clothing thermal insulation when sweating and when non-sweating **発汗時と非発汗時の衣服断熱性の比較**	着衣の熱伝達は、環境工学や機能的衣服設計における熱的快適性に関係する重要なパラメーターである。非発汗時の衣服の断熱性はサーマルマネキンの使用等により測定されているが、断熱性に及ぼす発汗の影響についてはあまりよく理解されていない。本研究では、新規の発汗サーマルマネキンを用いて、ほとんど汗をかかない状態と非常に汗をかいている状態での衣服の断熱性を調べた。衣服の断熱性は発汗時に低下し、その低下率は、着衣内に蓄積した水分量によって、2～8%の幅にあった。

1.2.3 消防用防火服の熱性能のモデル化についての文献調査

消防用防火服が熱放射を受けた場合の、防火服内部の熱的な性能を理解、予測するための数値モデルは、過去に AEA Technology の Bamford と Boydell[72]、NIST の Mell と Lawson[73]、NIST の Prasad ら [74] によって作られた。Bamford と Boydell のモデル [72] と Mell と Lawson のモデル [73] は、防火服内部の熱移動に関してのみのモデル化である。後者は、防火服が乾燥している場合についてのみのモデルであるが、前者は、防火服が水分を含む場合も考慮されている。しかし、前者にしても、水分の物質移動についてはモデル化されていないため、防火服内部の熱物性値、温度、火傷などに影響をおよぼす水分の移動については計算されない。この２つのモデルについては、本報告書 1.2.2 項にレビューされているので、そちらを参照されたい。Prasad らのモデル [74]は、Mell と Lawson のモデル [73]を発展させたもので、熱移動に加えて水分移動もモデル化した NIST 最新のモデルである。このモデルについて、この項で紹介する。

また、消防用防火服の熱的な性能の研究は、基礎的には、多孔質織物を通した熱・物質移動の研究であると考えることができる [74]。Prasad らは論文 [74]中の Introduction 内で、多孔質媒体、吸湿性織物内の熱・水分移動についての過去に開発された数値モデルの歴史をレビューしている。実際にモデルを開発する場合には、そこでレビューされた文献も参考になるかもしれない。

Prasad らのモデル [74]

このモデルは、乾燥した消防用防火服の熱挙動を予測するための計算モデル [73] を、水分を含んだ状態の消防用防火服の熱挙動を研究するためのモデルに拡張したものである。このモデルでは、消防用防火服の表面が熱放射を受けたときの、防火服の生地を通した熱移動と水分移動の過渡変化を調べることができる。防火服は繊維内に空隙を含む多孔布として扱われている。熱の移動は伝導、対流、放射を、多孔布を通しての水分の移動は対流、拡散、蒸発、凝結、吸着、脱着を説明できるモデルで、布の厚さ方向の一次元モデルである。以下にこのモデルについて詳述する。

1)モデル化する上での仮定

a)水分の移動は、衣服の繊維のまわりの空隙を通る水蒸気の分子拡散と bulk flow によって引き起こされる。毛管現象(繊維表面、繊維内の細孔を通しての拡散)は無視。

b)布内の水分含有量は、空隙内のガス温度における水蒸気分圧と常に平衡である。平衡の速度は水蒸気の拡散過程よりもはるかに速いとする。

c)水分含有量の変化による繊維の体積変化は無視する。

d)熱・物質伝達は一次元で、繊維層の厚さに沿う方向のみとする。横方向への輸送はない

---

[72] Bamford, G. J. and Boydell, W., "ICARUS: A Code for Evaluating Burn Injuries", Fire Technology, Vol. 31, No. 4 (1995) pp. 307-335.

[73] Mell, W. E. and Lawson, J. R., "A Heat Transfer Model for Firefighters' Protective Clothing", Fire Technology, Vol. 36 (2000) pp. 39-68.

[74] Prasad, K., Twilley, W. and Lawson, J. R., "Thermal Performance of Fire Fighters' Protective Clothing. 1. Numerical Study of Transient Heat and Water Vapor Transfer", NISTIR 6881, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland (2002)

とする。
e)布の分解・化学反応は考慮しない。
f)放射強度は低・中度とする。（消防用防火服の熱分解が起きない場合に、消防士が二度火傷を負うのは放射強度が低・中程度の場合だから）
2) 基礎式
式１）水蒸気の質量保存式
式２）空気の質量保存式
式３）エネルギー保存式
式４）繊維内の水と繊維のまわりの空隙内の水蒸気の平衡式（吸着等温線）
式５）状態方程式
式１）、２）中には空隙内の水蒸気と空気の速度（bulk flow）が入ってくる。非常に短時間に強力な放射によって布が 100℃以上になるとき、水蒸気と空気の速度をナビエ・ストークス方程式から解くことは難しい。そこで、水蒸気と空気の速度はダルシーのモーメント式を使って局所的な圧力傾度から求める。
Mell と Lawson のモデル[73]では、乾燥した消防用防火服の熱挙動の予測モデルであったため、エネルギー保存式と放射伝達の式を解くのみであった。それに比べ、この場合は水分を含む多孔質体の熱物質移動をモデル化しているため、基礎式は非常に複雑になっている。
3) 基礎式の未知数
a)温度
b)水分含有量
c)空隙内の水蒸気の体積分率
d)空隙内の空気の体積分率
f)水蒸気のモル濃度
4) 基礎式から近似式をつくる上での仮定
基礎式は非常に複雑になるため、これらをそのまま解くことは非常に困難である。そのため、さらにいくつかの仮定をおいて近似式を作り、この近似式を解く事で、シミュレーションの結果が得られる。近似式を作るうえでの仮定は以下のとおり。
１．水蒸気の顕熱は無視。これは、衣服を通しての熱伝導と、繊維上での水の吸着・脱着による潜熱効果に比べて無視できるから。
２．水分含有量と水蒸気圧を関係づける吸着等温線が妥当である。
３．繊維を通る空気流れの体積は無視、つまり空気は流れてないとする。（水蒸気は移動する）
5) 近似式
下記の３つの近似式を、各繊維層と繊維層の隙間の空気層について解く。
式１）エネルギー保存式
式２）水蒸気の質量保存式
式３）繊維内の水分と、繊維のまわりの空隙内の水蒸気の平衡式（吸着等温線）
6) 近似式の未知数
a)水分含有量

b)温度
c)水蒸気圧力
7) 放射モデル
エネルギー保存式中に現れる放射項を求めるために、放射モデルが必要となる。衣服の各層表面への主な放射の入射は、
a)衣服表面への外部からの放射
b)衣服内の空気層をよこぎる放射と反射
放射の透過はBeer-Lambertの法則に従う。繊維の吸収係数は衣服の各層内で一定とし、透過率と反射率から求める。
8) 一層の湿った布についての計算と実験
濡れた消防用防火服で水分がおよぼす影響を明らかにするために、シミュレーションと実験を行っている。
対象とする布は、実験の際に布内の水分の分布をコントロールしやすいという理由で、一層の布とした。布内の水分分布の変化は、布の厚み方向のみに存在する、つまり一次元の問題とした。
・生地の構成：アラライト・サーマルライナー一層、内訳：中綿（Batting）＋隙間（空間）＋ラシャ（face cloth)。
・モデル：アラライト・サーマルライナー一層に均一に水分を含ませたもの。実験では、布の両面から既知量の水を噴霧した。
・放射：2.5 k W/m^{2}をBattingに入射
結果：
1. 生地表面、裏面の温度変化の傾向は、シミュレーションの予測値と実験値とでよい一致を示した。
2. 布内の温度、水蒸気圧、水分含有量、乾燥繊維密度、湿潤繊維密度の厚さ方向の分布の時間変化をシミュレーションで調べた。
3. 生地表面、裏面での対流熱流束、正味放射流束、水分の対流による質量流束の時間変化をシミュレーションで調べた。
9) 消防用防火服についてのシミュレーション
典型的なある一つの消防用防火服の性能を、シミュレーションで調べている。
・生地の構成：シェル＋防水層＋サーマルライナー
・モデル：サーマルライナーのみ完全に湿潤、または完全に乾燥
・放射：2.5 k W/m^{2}をシェルに入射
結果：
1．生地表面、裏面の温度変化を計算した。
2．布内の温度、水蒸気圧、水分含有量、乾燥繊維密度、湿潤繊維密度の厚さ方向の分布の時間変化を調べた。
10) 今後数年間のNISTの計画
消防用防火服に関するNISTの今後の研究計画を論文の最後で述べているが、これらも参考になるため記しておく。
a)熱伝導率、拡散係数、熱容量などの様々なパラメーターが、消防用防火服の性能におよ

ぼす影響を詳細に調べる。対流熱伝達、対流物質伝達が予想される結果に及ぼす影響をさらに調べる。繊維層の厚さや空隙のような幾何学的なパラメーターが結果に及ぼす影響を詳しく調べる。

b)水分が繊維の光学特性におよぼす影響を調べる。現在のシミュレーションでは、乾燥した繊維層の光学特性を使用している。水は近赤外線に強い吸収バンドを持つので、このことを解析にいれる。

c)吸着等温線の測定は、3 つの繊維（Aralite、 Neo-Guard、 Nomex Ⅲ-Defender）に限られた。モデルをより一般的にするために、その他の消防用防火服に使われる布の吸着等温線を計測する。

d)質量損失計測、温度計測、熱流束計測についてのよりたくさんの実験を行い、モデルの近似を十分評価するために数値計算の結果と比較する。このモデルは、血液と皮膚表面での汗の形成によるエネルギーの移動を説明するものであること。

e)消防隊員に対する火傷の予測を行うために、皮膚モデルを熱物質伝達モデルと結びつける。

f)e)のモデルを使って、蒸気火傷を調べる。

g)人体衣服環境の詳細な熱解析を行うために、多孔質衣服のための熱物質伝達モデルを、人体の工学モデルと結合する。

h)人体－衣服系の熱モデルは、消防隊員が遭遇するオフィスビル火災、家屋火災、野火、その他の火災シナリオの典型的な FDS シミュレーション [75]から、入力データ（熱流束、気温および湿度）を得る。

[75] McGrattan, K. B., Baum, H.R., Rehm, R.G., Hamins, A., Forney, G.P., Floyd, J.A. and Hostikka, S., "Fire Dynamics Simulator (Version 2) – Technical Reference Guide", Technical Report NISTIR 6783, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland (2001)

2　消防隊用防火服生地の一般性能、耐熱性能

日本の代表的な都市で採用している防火服生地6種類および消防団用防火服生地2種類の一般性能、耐熱性能などをISO 11613:1999のアプローチA（欧州仕様）に示されている性能試験法により調べたので、その結果などについて記述する。

2.1　一般性能

2.1.1　引張強さ

外側素材生地の破壊荷重はISO 5081:1977「繊維製品—織物—破れ強度および伸びの測定（ストリップ法）」にしたがって試験した際の縦方向、横方向ともに450 N以上を要求している。測定結果は表2.1.1.1に示す。

表2.1.1.1　日本の代表的な防火服生地の引張強さ（単位　：N）

防火服の種類	A	B	C	D	E	F	G	H
たて方向	2046	3211	853	2665	1734	試料幅を一定値に維持できないため測定不能	1190	1725
よこ方向	1253	2285	932	2278	1218		1066	1381

試料Fは、特殊な生地でISO 5081:1977（ストリップ法）では試料幅を一定値に保つことができないため測定不能となっており、他の方法で測定する必要があることを示している。しかし、その他の防火服生地についてはいずれも要求性能値450 Nを十分満足していることが分る。

2.1.2　低い放射熱に暴露された場合の生地の残留強度

防火服全体生地をISO 6942:1993「熱および火炎に対する防火服—放射熱源に暴露された際の材料生地の熱挙動の評価」のA法にしたがって生地の縦方向と横方向各1枚を10 kW/m^{2}で処理する前と後で各試料の破壊荷重をISO 5081:1977で試験した際に縦方向、横方向の引張強さはともに450 N以上を要求している。測定結果は表2.1.2.1に示す。

表2.1.2.1　日本の代表的な防火服生地の残留引張強さ（単位　：N）

防火服の種類	A	B	C	D	E	F	G	H
たて方向	2038	3243	850	2660	1750	試料幅を一定値に維持できないため測定不能	1166	1656
よこ方向	1278	2280	929	2273	1242		1045	1326

試料Fは、特殊な生地でISO 5081:1977（ストリップ法）では試料幅を一定値に保つことができないため測定不能となっており、他の方法で測定する必要があることを示している。しかし、その他の防火服生地についてはいずれも要求性能値450 Nを十分満足していることが分る。

2.1.3　引裂強さ

外側素材生地の引裂強さはISO 4674:1977「ゴムまたはプラスチックで被覆された織物—引裂耐性の測定」の方法A2にしたがって試験した際の縦方向、横方向ともに25 N以上を要求している。測定結果は表2.1.3.1に示す。

表 2.1.3.1　日本の代表的な防火服生地の引裂強さ（単位　: N)

防火服の種類	A	B	C	D	E	F	G	H
たて方向	86.2	161.3	84.9	162	51.1	試料幅を一定値に維持できないため測定不能	83.4	77.2
よこ方向	135.6	1.64	74.8	168.4	59.8		82.9	76.5

試料 F は、特殊な生地で ISO 4674:1977 の方法 A2 では試料幅を一定値に保つことができないため測定不能となっており、他の方法で測定する必要があることを示している。しかし、その他の防火服生地についてはいずれも要求性能値 25 N 以上であり十分満足していることが分る。

2.1.4　表面湿潤性

外側素材生地の噴霧率は ISO 4920:1981「繊維製品―織物の表面湿潤耐性（噴霧試験）の測定」にしたがって試験した際に 4 以上を要求している。測定結果は表 2.1.4.1 に示す。

表 2.1.4.1　日本の代表的な防火服生地の表面湿潤性

防火服の種類		A	B	C	D	E	F	G	H
試験回数	1	*5	*5	5	*5	4	5	5	5
	2	*5	*5	5	*5	4	5	5	5
	3	*5	*5	4	*5	4	5	5	5

* : わずかに裏面漏水が認められる。

表を見ると、日本の代表的な防火服生地はいずれも要求性能値 4 以上であり満足していることが分る。

2.1.5　洗濯収縮耐性

外側素材全体生地の洗濯寸法変化は、ISO 11613:1999 に規定されている前処理とともに ISO 5077:1984「繊維製品―洗濯および乾燥による寸法変化の測定」にしたがって試験した際に縦方向、横方向ともに 3 %以下を要求している。測定結果は表 2.1.5.1 に示す。

表 2.1.5.1　日本の代表的な防火服生地の洗濯収縮性　(単位　: %)

防火服の種類		A	B	C	D	E	F	G	H
外層	たて	-2.7	-1.2	-3	-1.2	-0.7	-4.8	-1.5	-1.8
	よこ	-0.5	-0.5	-3.2	-1	-0.5	-3	-1.5	-1.3
透湿防水層	たて	-1.5	-1	-1.8			-2		
	よこ	-1.5	-1.5	-2.3			-2.3		
断熱層	たて	-0.5	-4.5	-5.7	-1	-1.7	-5		
	よこ	-1	-3	-4	-0.7	-1	-2.3		

表を見ると、日本の代表的な防火服生地の C,F は要求性能値 3%以上のものがあり、洗

濯収縮性に関しては日本独自の性能基準値（6%程度）を設けるか、ISO の基準値（３%）を設定するかは検討する必要がある。

2.1.6　液体化学薬品浸透耐性

次の薬品類を用いて、ISO 6530:1990「防火服―液体化学薬品に対する保護―液体浸透に対する素材の耐性の測定」にしたがって試験した際に流出は 80%を超えるものとし、最も内側への浸透はないものとするよう要求している。測定結果は**表 2.1.6.1** に示す。なお、試験に先立ち、織物は 20℃±2℃の温度および 65±5%の相対湿度で 24 時間コンディショニングを行い、全ての試験は 10 秒の注入時間および 20℃の温度で実施することとされている。

a)　20℃で 40%の水酸化ナトリウム（NaOH）
b)　20℃で 36%の塩酸（HCL）
c)　20℃で 30%の硫酸（H_2SO_4）
d)　White Spirit　（不明なためここではベンジンを使用）

表 2.1.6.1　日本の代表的な防火服生地の液体化学薬品浸透耐性　（単位　：%）

防火服の種類	A	B	C	D	E	F	G	H
40%NaOH	99.3	99.5	99.6	98.9	95.3	94.8	95	94.5
36%HCl	99.0	99.3	98.1	98.0	96.3	96.5	95.5	95.1
30%H2SO4	99.3	99.6	99.0	98.3	95.6	95.3	94.5	95.2
White Spirit（ベンジン）	94.6	92.2	91.5	90.0	91.5	90.2	90.3	90.1

表を見ると、日本の代表的な防火服生地はいずれも要求性能値 80%以上であり十分満足していることが分る。

2.2　耐熱性能

2.2.1　耐炎性（ISO 15025）

この試験規格は、垂直に吊るされたような繊維製品や産業用製品に対して適用されるもので、200mm×160mmに切り取った試料を試料ホルダーにより垂直にセットし、火炎長 25mm に調節したバーナーを接炎して、その燃焼性を見る方法である。日本ではこれと類似の試験方法の規格はない。

接炎には、表面着火と下端着火の 2 種類がある。接炎時間は 10s である。測定項目として、火炎伝ぱ性、炎滴着火性、穴空きの有無、残炎時間、残じん時間などを測定する。この規格の中には、性能基準は定められていない。しかし、ISO 11613：1999 性能要求事項の中に定められている。この要求性能基準は次のとおりである。

火炎伝ぱ性　：　最上部、左右の端部まで火炎が達しないこと。
炎滴着火性　：　火炎を伴った滴下物や、溶融滴下物がないこと。
穴空きの有無　：　火炎が接炎した際に試料に穴が空いてはならないこと。
残炎時間　：　平均値が 2s 以下
残じん時間　：　平均値が 2s 以下

測定結果を**表 2.2.1.1** に示す。

表 2.2.1.1　日本の代表的な防火服生地の耐炎性能

防火服の種類	測定項目	外　層		内　層	
		たて	よこ	たて	よこ
A	炎	端に達しない	端に達しない	端に達しない	端に達しない
	穴あき	ない	ない	ない	ない
	着炎滴下物	ない	ない	ない	ない
	残炎（秒）	0	0	0	0
	残じんく秒）	0	0	0	0
B	炎	端に達しない	端に達しない	端に達しない	端に達しない
	穴あき	ない	ない	ない	ない
	着炎滴下物	ない	ない	ない	ない
	残炎く秒）	0	0	0	0
	残じん（秒）	0	0	0	0
C	炎	端に達しない	端に達しない	端に達しない	端に達しない
	穴あき	ない	ない	ない	ない
	着炎滴下物	ない	ない	ない	ない
	残炎く秒）	0	0	0	0
	残じん（少）	0	0	0	0
D	炎	端に達しない	端に達しない	端に達しない	端に達しない
	穴あき	ない	ない	ない	ない
	着炎滴下物	ない	ない	ない	ない
	残炎（秒）	0	0	0	0
	残じんく秒）	0	0	0	0
E	炎	端に達しない	端に達しない	端に達しない	端に達しない
	穴あき	ない	ない	ない	ない
	着炎滴下物	ない	ない	ない	ない
	残炎（秒）	0	0	0	0
	残じん（秒）	0	0	0	0
F	炎	端に達しない	端に達しない	端に達しない	端に達しない
	穴あき	ない	ない	ない	ない
	着炎滴下物	ない	ない	ない	ない
	残炎く秒）	0	0	0	0
	残じん（秒）	0	0	0	0
G	炎	端に達しない	端に達しない	端に達した	端に達した
	穴あき	あり	あり	あり	あり
	着炎満下物	ない	ない	ない	ない
	残炎（秒）	20	43.9	−	−
	残じんく秒）	2.3	0	−	−
H	炎	端に達しない	端に達しない	端に達しない	端に達しない
	穴あき	ない	ない	ない	ない
	着炎滴下物	ない	ない	ない	ない
	残炎（少）	0	0	0	0
	残じん（秒）	0	0	0	0

表を見ると、日本の代表的な防火服生地はGを除いていずれも要求性能基準を満足していることが分る。Gは消防団用であることを考えると、実際の消防隊用防火服は十分耐炎性能を満足していると言ってよい。

2.2.2　火炎暴露による防護性能（ISO 9151：1995）

この試験法は、急激なフラッシュ火炎に防火服が遭遇した際の布地の防護性能を評価するもので、布地を水平に熱流センサーの下にセットし、下方からメッケルバーナで接炎し、センサーの温度が24℃および12℃上昇するまでの時間を測定する。図2.2.2.1に装置の概要を示す。この試験を3つの試料について測定し、その平均値を求め、これらの値を HTI_{24} および HTI_{12}（Heat Transfer Index）として表す。なお、最初にバーナーからのセンサーへの熱流束は、布地をセンサーの下に敷かない状態でバーナーによりセンサーを接炎した際に、センサーの温度上昇から次の式によって求めた値が80kW/m²になるようにバーナー火炎を調節する。

$$Q = \frac{Mc_{\rho}R}{A}$$

ここで、　Q：熱流束（kW/m²）、M：センサー(銅)の質量（kg）
c_{ρ}：センサーの熱容量（0.385kJ/kg・℃）、
R：センサーの温度上昇曲線の直線部分の傾き（℃/s）
A：センサーの表面積（m²）

防火服生地の火炎に対する防護性能基準は、$HTI_{24} \geqq 13s$、$HTI_{24}-HTI_{12} \geqq 4s$ である。

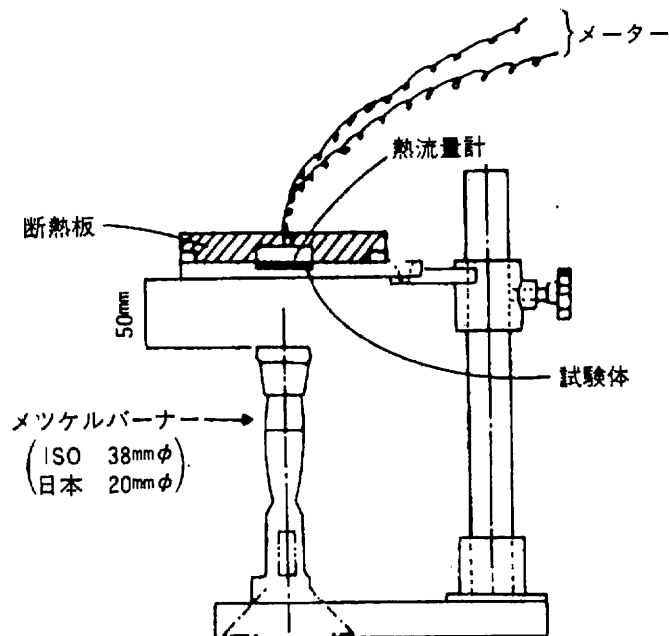



図2.2.2.1　生地の火炎による防護性能を試験する装置の概要

測定結果を表 2.2.2.1 に示す。

表 2.2.2.1　日本の代表的な防火服生地の火炎暴露に対する防護性能

防火服の種類		A	B	C	D	E	F	G	H
HTI_{24}	≧13	17	15	17	14	17	16	7	7
HTI_{24}-HTI_{12}	≧4	5	5	5	5	6	5	2	3

表を見ると、日本の代表的な防火服生地は G、H を除いていずれも要求性能基準を満足していることが分る。G、H は消防団用であることを考えると、実際の消防隊用防火服は十分火炎暴露に対する防護性能を満足していると言ってよい。

2.2.3　放射熱暴露による防護性能（ISO 6942）

この試験方法には、カロリメータの種類により得られるデータは異なってくる。1つは 1993 年に制定されたアルミニュウム製ブロックカロリメータを使用する試験（ISO 6942:1993）と、もう1つは銅板製カロリメータを使用する試験（ISO 6942:2002）である。ISO 6942 装置の外観およびカロリメータの写真を図 2. 2. 3. 1 に示す。

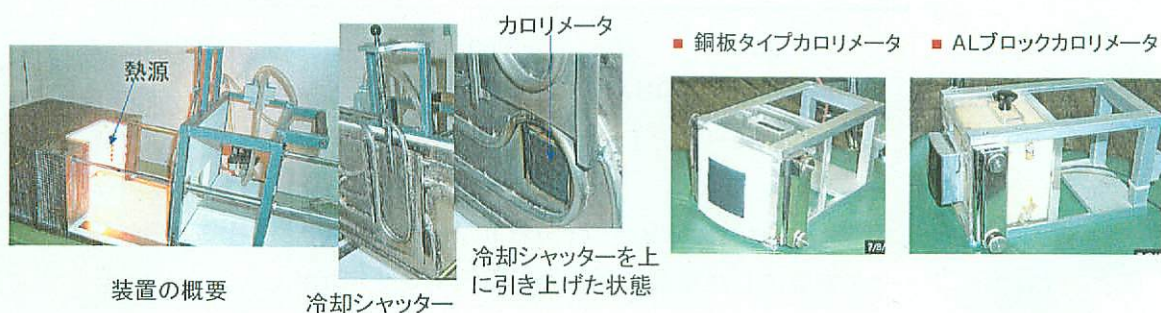



図 2.2.3.1　ISO 6942 装置の外観およびカロリメータ

ISO 6942:1993 は、熱源から 40kW／m²になる距離に試料を被せたカロリメータをセットし、カロリメータの温度上昇曲線と 2 つのレベル曲線（苦痛曲線、水泡発生曲線）との交点の加熱開始からの時間をそれぞれ t_1、t_2として求めると共に、元の熱流束が布地によりどの程度減衰して透過するか（熱透過率 TF%）を求める。防火服生地の ISO 11613 : 1999 中での欧州仕様の火炎に対する耐熱性能基準は、$t_2 \geqq$ 22s、$(t_2 - t_1) \geqq$4s、熱透過率(%)≦60 である。

ISO 6942:2002 は、ISO 6942:1993 の方法を改良したものであり、熱源から 40kW／m²になる距離に試料を被せたカロリメータをセットし、加熱開始からカロリメータの温度が 12℃および 24℃上昇する時間 t_{12}、t_{24} を求めると共に、元の熱流束が布地によりどの程度減衰して透過するか（熱透過率%）を求める方法である。報告値は、t_{24}、$(t_{24} - t_{12})$、熱透過率(%)である。この規格は制定が 2002 年であるので、11613 : 1999 の性能要求事項には定められていない。

また、Al カロリメータと Cu カロリメータの相関を調べるために、欧州ラウンドロビン試験に参加した。参加国は１１カ国１２研究所であり、熱的性能の異なる６試料について、20 k W/m²、40 k W/m² の２水準で試験を行った。結果の一例を図 2. 2. 3. 2 に示す。この関係を見ると、かなり良い相関性があることが分かる。したがって、以前、Ａｌカロリメータで取られたデータから、新しい規格での Cu カロリメータのそれぞれ対応する値を予測することが可能であると言える。

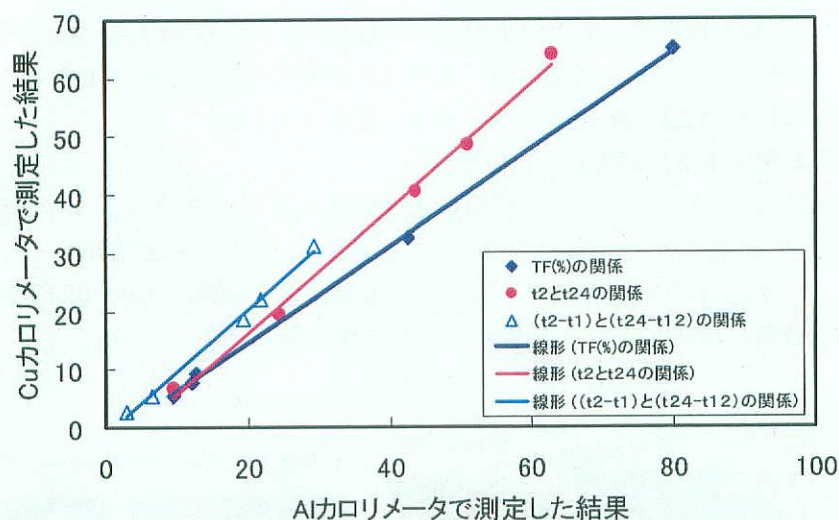



図 2.2.3.2　Al カロリメータと Cu カロリメータ間の関係（40 k W/m²）

また、欧州ラウンドロビン参加国平均の Al カロリメータで測定した結果と消防研究所所有の Cu カロリメータで測定した結果の関係図を図 2. 2. 3. 3 に示す。

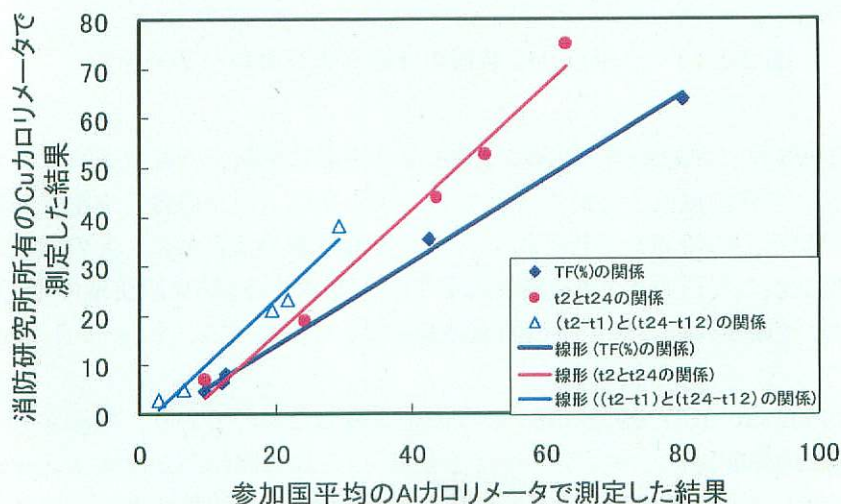



図 2.2.3.3　欧州ラウンドロビン参加国平均の Al カロリメータで測定した結果と消防研究所所有の Cu カロリメータで測定した結果の関係（40 k W/m²）

これらの図から、AL カロリメータでの耐熱性基準値に相当する Cu カロリメータの耐熱性基準値を求めてみると表 2.2.3.1 となる。

表 2.2.3.1 Al カロリメータの耐熱性基準値に相当する Cu カロリメータの耐熱性基準値

耐熱性基準値	TF(%)	T_2およびT_{24}(s)	(t_2-t_1)および(t_{24}-t_{12})(s)
参加国平均のALカロリメータによる基準値	60	22	6
参加国平均のCuカロリメータによる基準値	49	18	5
消防研究所所有のCuカロリメータによる基準値	48	18	5

日本の代表的な防火服生地の各カロリメータによる測定結果を表 2. 2. 3. 2 に示す。この表中には、表 2. 2. 3. 1 から求めた消防研究所所有の Cu カロリメータによる基準値を入れてある。

表 2.2.3.2 日本の代表的な防火服生地の放射熱暴露による防護性能

	防火服の種類		A	B	C	D	E	F	G	H
ISO 6942:1993(Al)	t_2	≧22	30	29	42	26	29	47	20	18
	t_2-t_1	≧6	9	8	14	7	10	15	6	6
	熱透過率(%)	≦60	36	36	32	46	32	30	62	57
ISO 6942:2002(Cu)	t_{24}	≧18	25	23	33	21	25	32	13	12
	t_{24}-t_{12}	≧5	8	7	10	7	10	9	4	5
	熱透過率(%)	≦48	20	23	17	24	17	19	36	35

表を見ると、日本の代表的な防火服生地は G、H を除いていずれも要求性能基準を満足していることが分る。G、H は消防団用であることを考えると、実際の消防隊用防火服は十分放射熱暴露に対する防護性能を満足していると言ってよい。

2.2.4 対流熱暴露による防護性能（ISO 11613：1999 の付属書 A）

防火服素材全体生地の対流熱による防護性能は、ISO 11613：1999 の付属書 A にしたがって 180℃の試験温度で試験した際に試料が溶融、滴下、分離または発火しないこと、また 5%を超えて収縮しないことを要求している。測定結果を表 2. 2. 4. 1 に示す。

表を見ると、全ての防火服生地はいずれも要求性能値を十分満足していることが分る。

表 2.2.4.1　日本の代表的な防火服生地の対流熱暴露による防護性能

防火服の種類		A	B	C	D	E	F	G	H
溶融		無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
溶融滴下		無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
分離		無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
発火		無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し
寸法変化率≦5%	たて方向	−0.5	0	−1.5	0	0	0.5	−2	0
		−0.5	0	−0.7	0	−0.5	−0.7		
		−1	−0.3	−0.3	−1.7		0		
	よこ方向	−0.3	0	0	−0.5	−0.7	0	−2.3	0
		0	−0.7	0	−0.5	−0.3	0		
		0	−0.5	−0.5	−1.5		−0.5		

寸法変化率は外層・透湿防水層・断熱層の順に示しある。

3　サーマルマネキンを用いた防火服の耐熱性能の評価

3.1 サーマルマネキンの概要

このサーマルマネキンを用いた試験法は、ISO/DIS 13506 に規定されている。この試験法は､消防隊員の防火服の耐熱性能を実際に人間が着用した状況下での耐熱性能を評価するようになっている。

その方法は 122 個の熱流センサーを埋め込んだ人体ダミーであるマネキンに評価しようとする防火服を着せ、このマネキンをプロパンガスバーナにより作り出した火災環境に曝露する。その際に各熱流センサーに入る熱流を計測し、計測した熱流からマネキン各部の火傷の程度及びその面積などを算出し、防火服の耐熱性能を評価する。マネキンに防火服を着用させた状態に火炎を曝露した前後の状態の写真を図 3.1.1 に示す。

火炎暴露前

火炎暴露後

図 3.1.1　防火服を着用させたマネキンへの火炎暴露前後の状態

この装置は大きく分けて次の 3 つから構成さている。それらはマネキン本体、火災環境を作り出すバーナシステム及びデータサンプリングを行ってマネキンの各部における火傷状況を算出表示するためのデータ処理装置である。装置の構成を図 3.1.2 に示す。

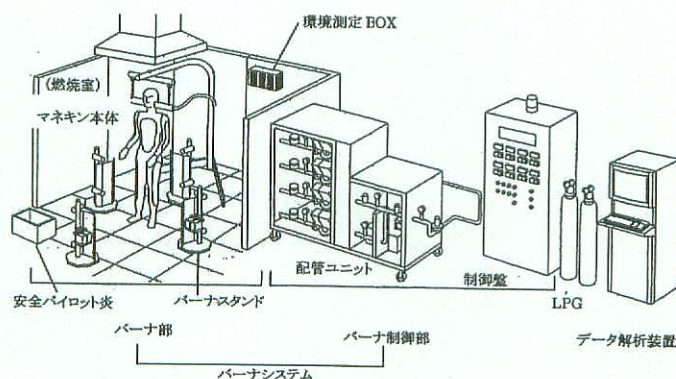
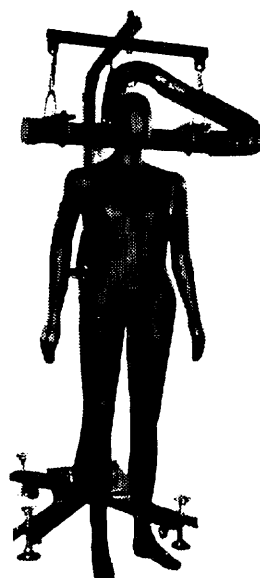



図 3.1.2　サーマルマネキンシステムの構成図

3.1.1　マネキン本体

図 3.1.1.1　マネキン本体

マネキン本体は欧米人タイプの成人男性立位（身長 180cm）で、ファイバーグラスなどで作製されている。その表面は黒色耐熱塗料が塗布されており、熱流束センサーが頭部 8 個、胴体部 49 個、腕部 20 個、大腿部 27 個、脚部 18 個の合計 122 個取り付けられている。熱流束センサーは測定レンジ 0～251 kW/m²、応答性 0．1 秒以下の性能のものが使用されている。マネキン本体の写真を図 3. 1. 1. 1 に示す。

3.1.2　バーナシステム

火災時の熱環境を作り出す装置で、8 本の接炎バーナとそれらを制御する装置から主に構成されている。接炎バーナにはそれに着火するためのパイロットバーナがそれぞれ取り付けられている。接炎バーナ及びパイロットバーナ各 2 本が 1 組になってバーナスタンドに取り付けられている。これらバーナスタンドは、接炎バーナによる火炎がマネキン全体を均一に曝露するように配置することになっている。燃料ガスはプロパンガスであり、接炎バーナでマネキンに曝露した際の平均熱流束が 80 k W/m² で 10 秒以上供給できるように燃料リザーブタンクが設けられている。（図 3.1.2 参照）また、部屋内に未燃ガスが充満して爆発などを起こすことを防ぐために安全パイロットバーナが設置してある。

安全パイロットバーナの点火、各接炎バーナの着火のためのパイロットバーナの点火、接炎バーナの点火などはバーナ制御装置からの手動制御と、データ解析装置からのプログラム制御のどちらの方法でも行えるようになっている。

3.1.3　データ解析装置

データ解析装置はマネキンに取り付けた熱流束センサー、温度、燃料流量、部屋の温度、湿度、気圧などの出力を 0．5 秒間隔で取り込むためのデータロガー、取り込んだデータを基に第 1 度～第 3 度火傷領域を表示したり、測定系全体を制御するための計測ソフト、それらを動作させるためのパソコンから構成されている。

3.2 ラウンドロビン試験

現在、サーマルマネキンを所有しているのは、カナダ１体、米国２体、イギリス１体、スイス２体、フランス１体、中国１体、日本２体（Ｔ株式会社、独立行政法人消防研究所）の合計10体である。これらマネキンは作製しているメーカーが異なり、ISO及びASTM(米国の規格)においてマネキンサイズはおおよそのサイズは規定されているが、規定されているサイズのみでは確定できない部分もあるためにわずかな違いが生じることが予想される。そのため、マネキンごとに試験結果が異なってくる可能性がある。したがって、ラウンドロビンテストとは、各マネキンや試験条件の等価性を調べること及び規定されている事項の不具合な点を洗い出すことを目的としており、同一の防火服材料を用い、同一の火災曝露条件下で試験し、試験結果の再現性、研究所間の再現性を調べ、後の規格の参考とするための試験である。

3.2.1 実験実施日及び場所

実験実施日　：　平成１３年５月２８日（月）　～　６月１日(金)

実験場所　　：　独立行政法人　消防研究所　防災実験棟　サーマルマネキン室

3.2.2 試験生地および試験条件

試験対象生地及び試験条件を表 3. 2. 2. 1 に示す。

A　：　防炎綿繊維で作製した防火服（305 g/m^2）

B　：　5%パラ－アラミド繊維を含むメターアラミド繊維で作製した防火服（203 g/m^2）

C　：　60%パラーアラミド繊維と 40%PBI（ポリベンズイミド）繊維の混紡で作製した防火服（153 g/m^2）

なお、下着着用の場合は、下着の素材は目付け 146 g/m^{2}の綿 100%で縫製された T-シャツとブリーフを着用することになっている。

表 3.2.2.1　サーマルマネキンのラウンドロビンテスト条件

曝露する熱流束 (kW/m^2)	曝露時間 (s)	防火服の種類	下着着用の有無
84±4	3又は4	防火服なし	無
84±4	3	A、B、C	無
84±4	4	A、B、C	有
84±4	4	A、B、C	無
84±4	5	A、B、C	有
84±4	3又は4	防火服なし	無

3.2.3 実験手順

（１）　実験準備

１）電源の投入

＊　燃焼排ガス用電源を入れる。

＊　アナウンス用電源を入れる。

＊　バーナ制御装置の電源を入れる。

＊　データ処理装置の電源を入れる。（パソコン、ディスプレイ、プリンターなど）

2）バーナ系燃料ガスコックの開放

＊　ＬＰＧボンベの元栓を開ける。

＊　接炎バーナ、パイロットバーナ、安全パイロットバーナのガス開放コックを開く。

（2）　裸マネキンの測定

1）マネキン曝露室の排気を行い、換気をしておく。（排気装置を作動させる）

2）実験条件を入力する。（ファイル名、接炎時間、データ収録時間など）

3）マネキン曝露室の排気を止め、安全確認等をする。

＊　マネキン室に人がいないことを確認する。

＊　マネキン室のドアが閉められていることを確認する。

＊　マネキン内部の温度が３２℃以下であることを確認する。

4）測定準備をする

＊　安全パイロット火炎が着火していることを確認する。

＊　パイロット炎が着火していることを確認する。（８本のパイロット炎）

＊　熱流束センサーの出力チェックをする。（壊れていないかを確認する）

＊　実験番号が区別できるもの（例えば、実験日、実験番号、などが記入された紙）を初めに撮影しておき、ビデオを動作させる。

＊　安全アナウンスを行なう。

5）測定を開始する。

＊　測定を開始する。

＊　データ収録時間まで達すると自動的にデータが取り込まれ、平均接炎熱流束値や火傷計算がなされる。

＊　平均接炎熱流束値が80±4ｋW/m^{2}に達していない場合は、再度裸マネキン測定を繰り返す。

＊　上述のことが満たされたら裸マネキンの火傷分布図及び平均熱流束の時間変化グラフを印刷する。

（3）　着衣マネキンの測定

1）マネキン曝露室の排気を行い、換気をしておく。（排気装置を作動させる）

2）実験条件を入力する。（ファイル名、接炎時間、データ収録時間、試験する防火服のタイプ・種類など）

3）マネキン曝露室の排気を止め、安全確認等をする。

＊　マネキン室に人が居ないことを確認する。

＊　マネキン室のドアが閉められていることを確認する。

＊　マネキン内部の温度が３２℃以下であることを確認する。

4）試験する防火服のサイズを測定する。

＊　防火服を平らな床に広げ、胸幅、ウエスト幅、ヒップ幅、腕幅、袖の長さ、脚部の幅、防火服全長、胴長、ズボンの長さ、背面の丈の長さ、ウエストバンドの幅などを測定する。

＊　防火服をマネキンに着せた状態で、胸幅、ウエスト幅、ヒップ幅、腕幅、脚部幅、などの余りを測定する。

5）試験する防火服を恒温恒湿槽（物質安全研究棟の固体燃焼室）から取り出し、ポリエチレン製袋に入れ持って来る。

6）ポリエチレン製袋から防火服を取り出し、マネキンに着せる。

7）実験番号が区別できるもの（例えば、実験日、実験番号、などが記入された紙）を初めにスチール写真で撮影しておき、さらに、防火服を着せた状態の写真を撮る。

8）測定準備をする。

＊　安全パイロット火炎が着火していることを確認する。

＊　パイロット炎が着火していることを確認する。（8本のパイロット炎）

＊　熱流束センサーの出力チェックをする。（壊れていないかを確認する）

＊　実験番号が区別できるもの（例えば、実験日、実験番号、などが記入された紙）を初めに撮影しておき、ビデオを動作させる。

＊　安全アナウンスを行なう。

9）測定を開始する。

＊　測定を開始する。

＊　データ収録時間まで達すると自動的にデータが取り込まれ、火傷計算がなされる。

＊　シミュレーションで120秒後の着衣マネキンの火傷分布図を印刷する。

10)　試験後の防火服のサイズを測定する。

＊　試験後の防火服をマネキンに着せた状態での胸幅、ウエスト幅、ヒップ幅、腕幅、脚部幅、などの余りを測定する。

＊　試験後に防火服をマネキンから脱がせ、平らな床に広げた状態で、胸幅、ウエスト幅、ヒップ幅、腕幅、袖の長さ、脚部の幅、防火服全長、胴長、ズボンの長さ、背面の丈の長さ、ウエストバンドの幅などを測定する。

（4）　裸マネキンの測定

1）（2）　裸マネキンの測定と同じことを行なう。

（5）　実験の終了

1）バーナ系燃料ガスコックの開放

＊　接炎バーナ、パイロットバーナ、安全パイロットバーなどのガス開放コックを閉じる。

＊　ＬＰＧボンベの元栓を閉じる。

2）電源の切断

＊　データ処理装置の電源を切る。（パソコン、ディスプレイ、プリンターなど）

＊　バーナ制御装置の電源を切る。

＊　アナウンス用電源を切る。

＊　燃焼排ガス用電源を切る。

3.2.4 測定結果と考察

（1）裸マネキンの熱流分布

火炎暴露する際のマネキン体表面上の平均熱流分布が何時も一定条件（約80±4kW/m²）

に入っていることを確認するために、1 日の試験前後で裸マネキンに 4 秒暴露し、マネキン体表面の熱流分布を調べた。マネキン体表面の各部位ごとの平均熱流束、熱流束の標準偏差、最大値、最小値の平均値を図 3.2.4.1 に示す。また、マネキン体表面の各部位ごとの平均熱流束、熱流束の標準偏差、最大値、最小値を表 3.2.4.1 に示す。

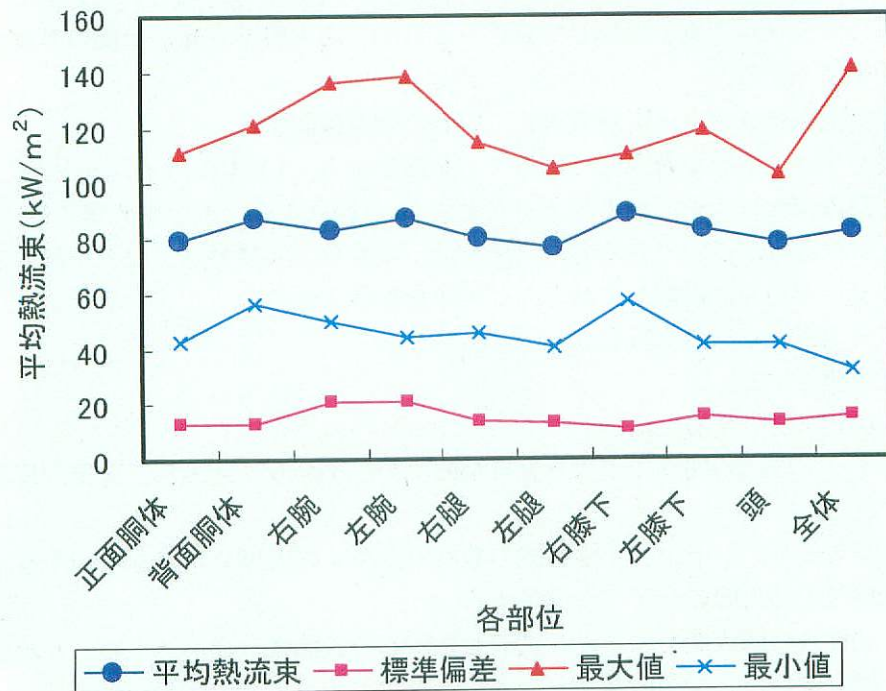



図 3.2.4.1　マネキン体表面の各部位ごとの平均熱流束、標準偏差、最大値、最小値

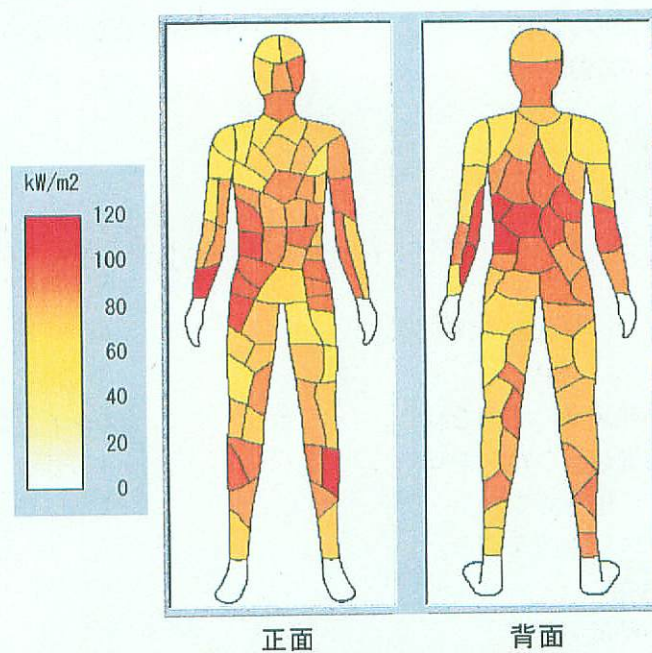



図 3.2.4.2　マネキン体表面の熱流束分布の例

マネキンの体表面に埋め込まれた全熱流センサー122 個の内で最大値、最小値はそれぞれ約 140ｋW/m²、約 30ｋW/m² と大きく離れている。これは、マネキンの体表面の熱流束分布図(図 3.2.4.2)からも明らかである。高い熱流束値を示している部位は、防火衣をマネキンに着用させた際にマネキン体表面と防火服間の空気層が各部位ごとに同一と仮定した場合には､左右腕部の火傷程度が他のものよりもひどくなる可能性を示している。しかし、平均熱流束は各部位ごとに 80ｋW/m²～83ｋW/m² と大きく変わらない値を示した。

（2）着衣マネキンによる防火服の耐熱性能

試料Ａ～Ｃの防火服を着用させ、平均暴露熱流束約 80ｋW/ｍ²、暴露時間３～５秒、下着の有無で、マネキン体表面の火傷程度と火傷範囲を表 3.2.4.1 に示す。各火傷値は３回の平均値である。また、各防火服を着用した際のマネキン体表面の火傷領域を図 3.2.4.3 に示した。

表 3.2.4.1　防火服の防火性能

試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷割合（%）	第2度火傷割合（%）	第3度火傷割合（%）	第2度+第3度火傷割合（%）
A	3	無	3.1	8.2	5.8	14.0
B	3	無	4.9	60.8	7.0	67.8
C	3	無	9.6	46.2	6.2	52.5
A	4	無	2.5	28.1	33.0	61.1
B	4	無	3.0	52.7	26.2	78.9
C	4	無	1.6	73.5	10.6	84.1
A	4	有	3.4	26.3	28.3	54.6
B	4	有	1.7	48.4	10.5	58.8
C	4	有	1.7	40.7	6.7	47.4
A	5	有	1.2	11.5	75.5	87.0
B	5	有	3.1	32.5	39.1	71.5
C	5	有	2.2	42.2	16.7	58.9

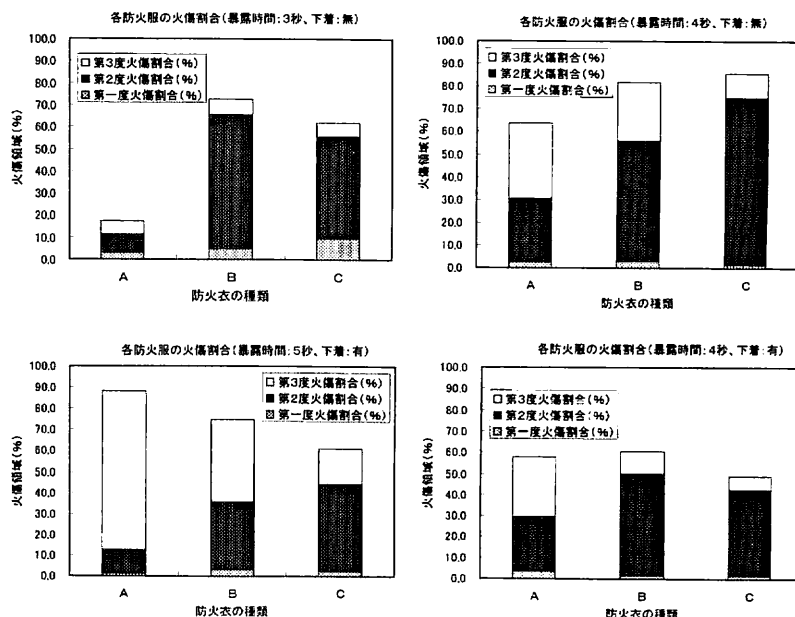



図 3.2.4.3　各防火服をマネキンに着用した際のマネキン体表面の火傷割合（平均値）

３秒暴露、下着無の条件では最も試料Ａが性能がよく、次いで試料Ｃ、試料Ｂの順である。素材の重量を見ると難燃綿であるが試料Ａは305ｇ/ｍ²と最も重く、試料Ｂ203ｇ/ｍ²、試料Ｃ153ｇ/ｍ²の順となっており、すなわち、試料厚みが火傷程度と火傷範囲に大きく影響していると考えられる。試料Ｂより試料Ｃが耐熱性能がよいのは、生地そのものの性能と考えられる。

４秒暴露、下着無の条件では最も試料Ａが性能がよく、次いで試料Ｂ、試料Ｃの順となっており、試料重量の順と同じとなっている。防火服の耐熱性能に試料重量（厚み）が大きく影響しているものと思われる。

４秒暴露、下着有の条件では最も試料Ｃが性能がよく、次いで試料Ａ、試料Ｂの順となっているが、その差は余り大きくない。下着の効果を見ると、４秒暴露の条件では試料Ａ、試料Ｂ、試料Ｃでそれぞれ第２度+第３度火傷領域を約6%、20%、37%減じている。特に生地が薄く耐熱性能の良い防火服Ｃに効果が大きいことが分る。

５秒暴露、下着有の条件では最も試料Ｃが性能がよく、次いで試料Ｂ、試料Ａの順となっている。この順序は試料重量の順序と逆になっている。試料Ａである防炎綿は暴露時間が短い間（３秒暴露）はある程度耐熱性能を保つことができるが、暴露時間が増大すると耐熱性能を急激に減じることが明らかとなった。逆に、試料Ｃの耐熱性能の良い生地の際は、生地を単層とせずに、多層とすることにより耐熱性能をかなり向上させられる可能性があることが分った。

詳細なデータとして、付図3.2.4.1～付図3.2.4.12に各試料の暴露時間と下着の有無に対する火傷程度範囲を示した。また、付図3.2.4.13～付図3.2.4.48に実験前後の防火服の状態写真を載せた。

3.2.5 日本の２体のサーマルマネキンの関係

日本には独立行政法人消防研究所以外にもＴ社が所有するサーマルマネキンがある。このマネキンもラウンドロビン試験に参加しており、このＴ社所有のサーマルマネキンで得られた第2度+第3度火傷割合の結果との関係を図3.2.5.1に示す。

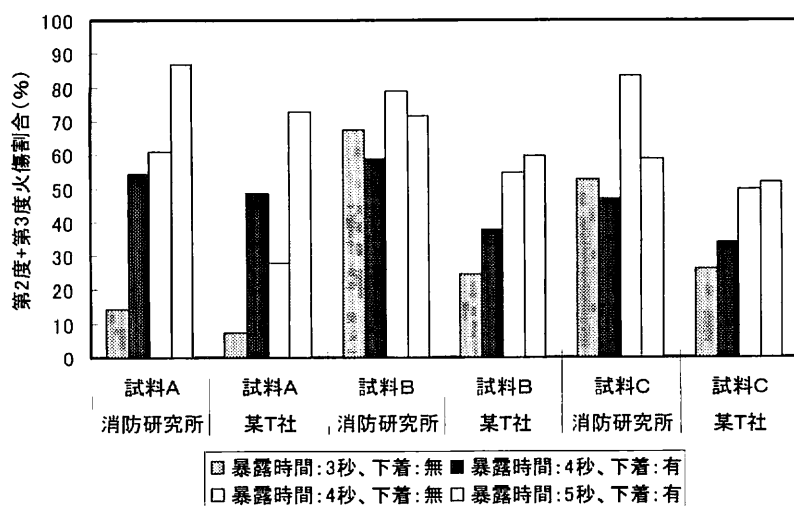



図 3.2.5.1 消防研究所とＴ社のサーマルマネキン試験結果の関係

この図を見ると、どの条件でも消防研究所所有のサーマルマネキンで試験した際の第2度＋第3度火傷割合のほうが某Ｔ社所有のサーマルマネキンで試験した際のそれより大きくなることが明らかである。どの程度大きくなるかは防火衣の素材の種類、暴露条件などにより異なり明確には示すことができない。そこで、もう少し明確に示すために全ての防火衣の種類、暴露条件に対して消防研究所の第2度＋第3度火傷割合を横軸として、Ｔ社のそれを縦軸にプロットすると図3.2.5.2となる。なお、図中の式は回帰直線の関数とR－2乗値である。

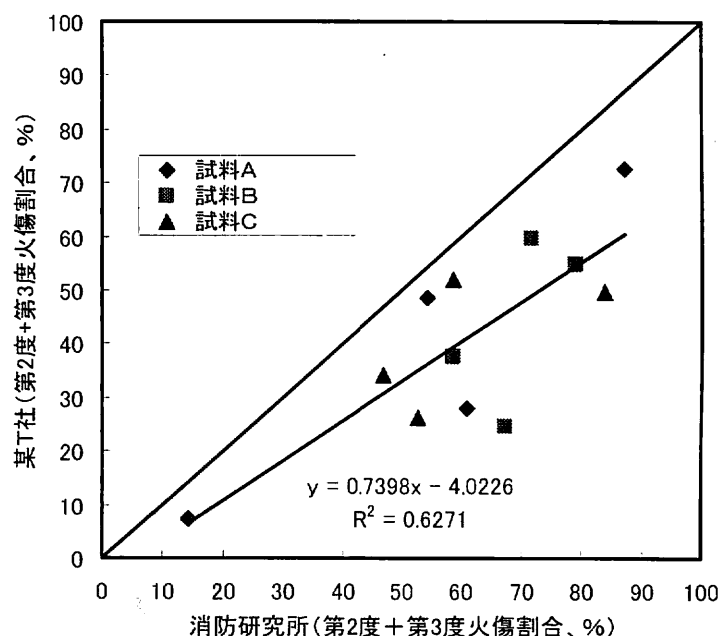



図 3.2.5.2　消防研究所とＴ社との第２度＋第３度火傷割合の関係

この図を見ると、相関性はあまりよくないが消防研究所の第2度+第3度火傷割合の値の約74％値が某Ｔ社の第2度+第3度火傷割合値となることを示している。

3.2.6　他国の研究所所有のサーマルマネキンと消防研究所所有のそれとの関係

世界でサーマルマネキン所有の研究所は10研究所であるが、データが提出された8研究所の第2度＋第3度火傷割合の比較を図3.2.6.1に示す。

この図を見ると、研究所Ｆは全ての条件で他の研究所より第2度＋第3度火傷割合が大きい結果を与えた。これは、裸マネキンの標準暴露での平均熱流束が79ｋW/m²～95ｋW/m²と他の研究所の84±4ｋW/m²に比較して暴露熱流束が大きかった可能性が高い。

一方、研究所Ｇは全ての条件で他の研究所より第2度＋第3度火傷割合が小さい結果を与えた。この理由は不明である。

消防研究所の第2度＋第3度火傷割合は、３秒暴露、下着：無の条件では研究所Ｆ、Ｇを除く他の研究所と比較して、試料Ｂ、Ｃで高い結果を示している。しかし、４秒暴露、下着：無の条件、４秒暴露、下着：有の条件、５秒暴露、下着：有の条件では、研究所Ｆ、Ｇを

除く他の研究所と大きな違いは見られない。

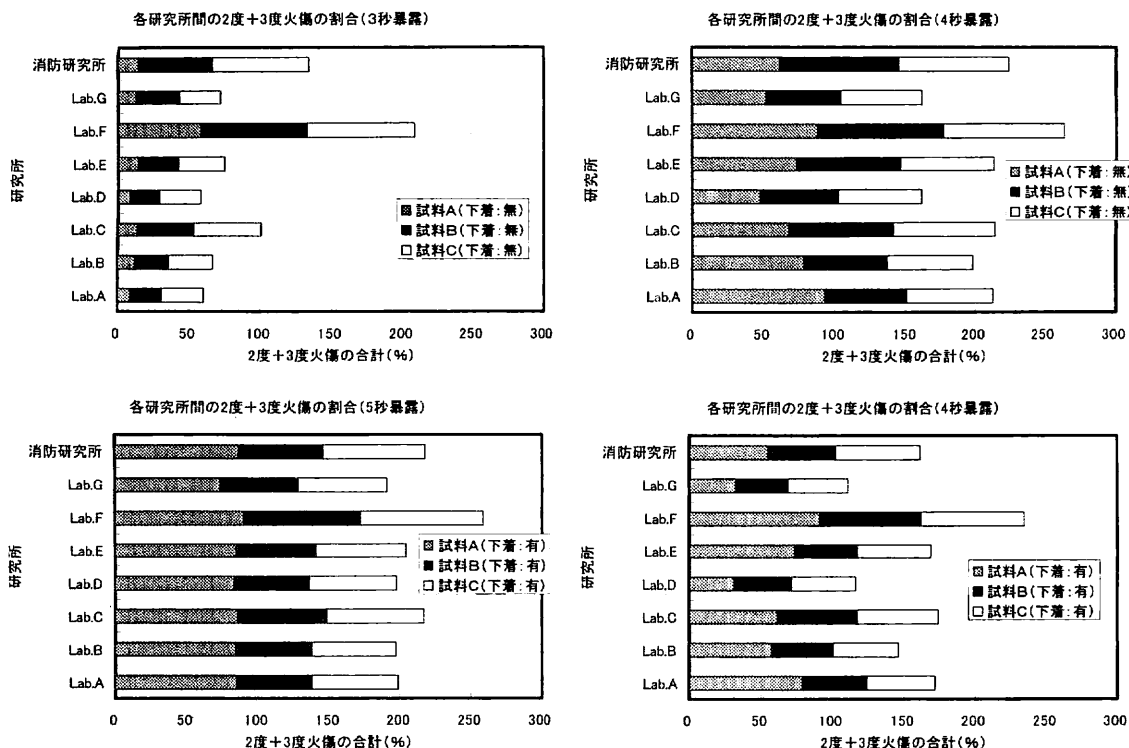



図 3.2.6.1　サーマルマネキン試験結果の比較（第２度+第３度火傷割合）

他の研究所との相関をとるために、他の研究所と極端に高い値を示した研究所F、逆に低い値を示した研究所Gを除く研究所の第2度＋第3度火傷割合の平均値をとり、それを消防研究所の同条件での値とをプロットすると図3.2.6.2となる。

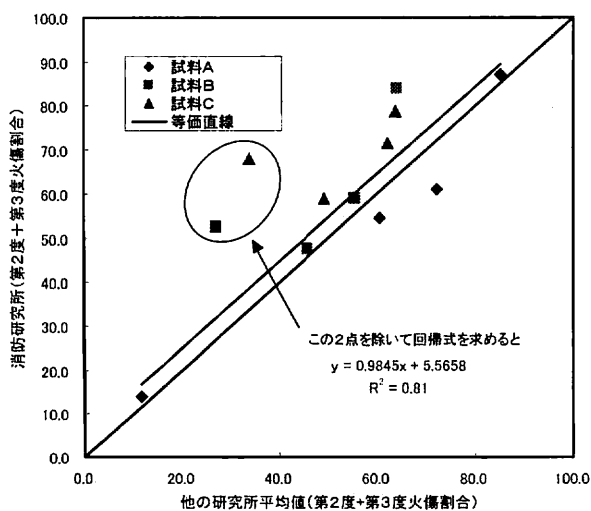



図 3.2.6.2　消防研究所と他の研究所の第２度＋第３度割合の関係

図を見ると相関性はあまり良くない。試料Aは比較的等価直線上に乗っていると言える

が、試料Ｂ、Ｃは条件によって大きく等価直線から上に外れている。そこで、大きく等価直線から外れた試料Ｂ，Ｃの３秒暴露のデータ（図中の円で囲んだ部分）を除いて回帰直線を求めるとかなり良い相関性を示した。この式に仮に従ったとするならば、消防研究所で測定した第2度＋第3度割合は、他の研究所の平均値のそれに約６％火傷割合を加えた値となることを示している。

3.2.7 まとめ

世界でサーマルマネキンを所有する10研究所で、３種の単一層防火衣、暴露時間３～５秒、下着の有無などの同一条件でラウンドロビン試験を行った結果、消防研究所所有のサーマルマネキン試験について次のようにまとめることができる。

（１）消防研究所でのサーマルマネキンへの火災暴露環境は部位によっては、最小熱流束、最大熱流束はそれぞれ約30ｋW/m²、約150ｋW/m²とかなりかけ離れているが、マネキン体表面122個のセンサー全体の平均熱流束では81ｋW/m²～84ｋW/m²である。

（２）日本で所有する2体のマネキン同士の関係では、消防研究所所有のマネキンで試験した場合の方が、第2度+第3度火傷割合が大きくなる傾向がある。

（３）世界の他のマネキンとの比較では、3秒暴露条件の試料Ｂ、Ｃに対する火傷データをを除くと、消防研究所で測定される第2度＋第3度火傷割合は世界の他の研究所所有のサーマルマネキンで測定されたそれらの平均値より約6%加えた値に相当する。

3.3 N社製防火服などのサーマルマネキンによる耐熱性評価

N社より、自社製作の作業服と防火服各１種類の耐熱性能をサーマルマネキンにより評価してほしいとの依頼があり、N社と共同で行った依頼試験の概要を以下に示す。

3.3.1 実験実施日及び場所

実験実施日　：　平成１３年12月10日（月）　～　12月11日(火)

実験場所　　：　独立行政法人　消防研究所　防災実験棟　サーマルマネキン室

3.3.2 試験生地組成および試験条件など

（１）試験生地組成

作業服　：　素材組成はメタ・アラミド65%、パラ・アラミド5%、ポリエステル15%、レーヨン15%で、重量が220ｇ/m^2の生地で縫製された上下作業服

防火服　：　次の構成生地により縫製された防火服

耐炎外層（上下服共通）：アミドイミド65%、パラ・アラミド35%+裏面コーティング、245ｇ/m^2

透湿防水層（上下服共通）：メタ・アラミド100%+透湿防水ラミネーション、140ｇ/m^2

防熱層（上服）：メタ・アラミド85%+ウール15%、165ｇ/m^2

防熱層（下服）：メタ・アラミド85%+ウール15%、115ｇ/m^2

（２）　前処理

試験する作業服、防火服各３着はISO 6330 2A-Eに従い５回洗濯をしたものを用いた。

また、これらの作業服、防火服はサーマルマネキン試験する前に温度20±2℃、相対湿度65±5%の恒温恒湿槽で24時間以上調整した後、できる限り速やかに試験を行った。

（３）　試験条件

暴露熱流束は裸マネキンで４秒暴露した際の平均熱流束が84±4ｋW/m^2とした。この暴露条件はサーマルマネキンのラウンドロビン試験と同等である。３着の作業服の暴露時間は全て３秒とし、防火服は各１着づつ４、６、８秒とした。

（４）　試験手順

前述の3.2.3と同手順で行った。

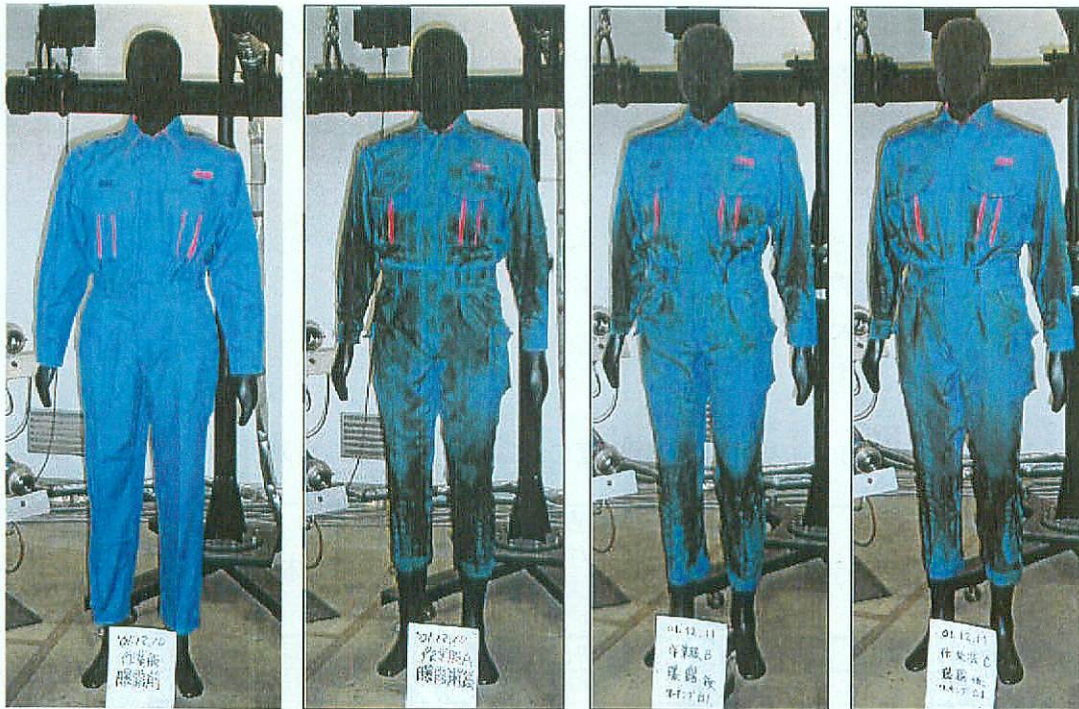
3.3.3 試験結果と考察

試験結果を一覧表にして表3.3.3.1に示す。

表 3.3.3.1　N社製作業服と防火服のサーマルマネキン試験結果（火傷データ：頭部除く）

月日	試料など	暴露時間(秒)	第一度火傷割合(%)	第2度火傷割合(%)	第3度火傷割合(%)	第2度+第3度火傷割合(%)	平均熱流束(kW/m²)	標準偏差(kW/m²)
2001年12月10日	裸マネキン	4	0.0	0.0	92.7	92.7	84.2	16.1
	作業着	3	6.3	32.5	0.9	33.4	–	–
	防火服	4	0.4	4.7	0.0	4.7	–	–
	裸マネキン	4	0.0	0.0	92.7	92.7	82.5	17.3
2001年12月11日	裸マネキン	4	0.0	0.0	92.7	92.7	84.9	15.1
	防火服	6	2.0	13.6	5.6	19.2	–	–
	防火服	8	8.4	15.3	15.6	30.9	–	–
	作業着	3	4.4	38.3	0.3	38.6	–	–
	作業着	3	1.2	24.8	1.6	26.4	–	–
	裸マネキン	4	0.0	0.6	92.1	92.7	82.1	17.1
裸マネキン(平均値)		4	0.0	0.2	92.6	92.7	83.4	16.4
作業着(平均値)		4	4.0	31.9	0.9	32.8	–	–

（1）作業服

作業服の暴露前と暴露後の状態を図3.3.3.1に示す。

3秒暴露前

3秒暴露後（1回目）

3秒暴露後（2回目）

3秒暴露後（3回目）

図 3.3.3.1　作業服のサーマルマネキン試験前後の状態（3 秒暴露）

図を見ると、暴露後はかなり作業服が収縮していることが分る。特に、、腕部、脚部の収縮が大きい。これらの収縮は３回試験してほとんど同様の結果を与えている。表3.3.3.1の作業服の火傷平均値の値を見ると、２度火傷+３度火傷の合計は約33％である。その内訳は２度火傷が約32％、３度火傷が約１％であり、ほとんどが２度火傷と言える。さらに、火傷の詳細を見るために、マネキン体表面を各部に分けそれぞれの２度火傷+３度火傷の火傷内訳を示すと図3.3.3.2となる。

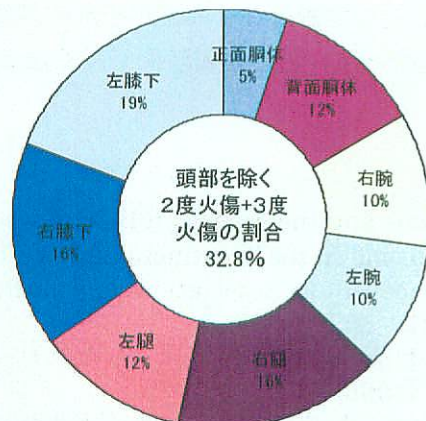



図 3.3.3.2　作業服の２度火傷+３度火傷の内訳（３秒暴露、火傷データ：頭部除く）

図を見ると、脚部が全体の63%を占めており、特に左右膝下部の火傷割合が多いことが分る。

米国火傷協会の火傷データをまとめた報告[76]によると、作業服の2度火傷+3度火傷が体表面積の約33%（2度火傷：約32%、3度火傷：約1%）を負った場合の生存率は、20才～29.9才で約97%、30才～39.9才で約96%、40才～49.9才で約91%、50才～59.9才で約83%となっている。また、東京都の過去10年間の熱傷統計[77]によると体表面積の2度火傷が約32%、3度火傷が約1%（Burn Index：（2度火傷/2）+ 3度火傷 ＝ （32/2）+1 ＝ 17）を負った際の死亡率は9.6%となっており、いずれの統計からもこの程度の火傷を負っても死亡する確率は小さいと言える。かって、体表面積の30%に火傷を受けると致命傷になるといわれていたのに比較して、かなり生存率が増えている。これは、最近の医療技術の進歩に起因するところが大きいと考えられる。

火傷と重症度に関する基準[78]を表3.3.3.2に示す。

表 3.3.3.2　火傷の重症度の基準（小児、老人を除く）

	体表面積に対する2度+3度火傷割合（%）	体表面積に対する3度火傷割合（%）	適　応
重症	30%以上	10%以上	専門施設に入院を要する
中等症	15～30%	2～10%	一般病院に入院を要する
軽症	15%未満	2%未満	外来治療が可能

表を見ると、2度火傷+3度火傷の割合が体表面積の30%以上（小児、老人の場合20%以上）であると、専門施設に入院させる必要があるとされている。平均熱流束が84±4kW/m^{2}の熱環境に3秒暴露させた際の作業服を着用させたマネキンの体表面積の2度火傷+3度火傷が約33%であることから、重症に相当することになる。

（2）防火服

防火服の暴露前と暴露後の状態を図3.3.3.3に示す。暴露時間が長くなるほど防火服の焦げが多くなっている。特に、正面より背面の方の焦げがひどい。

表3.3.3.1の防火服の２度火傷+３度火傷の合計値を見ると、4秒暴露で約5%、6秒暴露で約19%、8秒暴露で約31%である。その内訳は２度火傷がそれぞれ約5%、約14%、約15%、３度火傷が0%、約5%、約16%となっている。暴露時間が長くなるに伴い3度火傷割合が増えている。

---

[76] J.R.Saffle, B.Davis, P.Williams and the American Burn Association Registry Participant Group, " Recent Outcome in the Treatment of Burn Injury in the United States: A Report From the American Burn Association Patient Registry", Journal of Burn care & Rehabilication, p.219, 1995

[77] 松村正久他 10 名、"東京都の 11 熱傷ユニットにおける過去 10 年間の熱傷統計"、日本熱傷学会誌、第 22 巻、第 1 号、(1996)

[78] 大塚敏文、都築正和、山本保博、東京消防庁救急部：「救急医療の基本と実際　全 16 巻　11　熱傷・環境障害・溺水」

火傷の詳細を見るために、マネキン体表面を各部に分けそれぞれの２度火傷+３度火傷の火傷内訳を示すと図3.3.3.4となる。２度火傷+３度火傷割合は、4秒暴露では正面胴体、左右膝下がほぼ同じ割合の1.5%程度、6秒暴露では正面胴体約6%、背面胴体約7%、左右膝下3～4%、8秒暴露では正面胴体、背面胴体、左膝下が約6.5%、右膝下約3.5%、その他の左右腕、左右腿が1.3%～2.5%である。

正面

裏面

暴露前　4秒暴露後　6秒暴露後　8秒暴露後

図 3.3.3.3　防火服の火炎暴露前後の状態

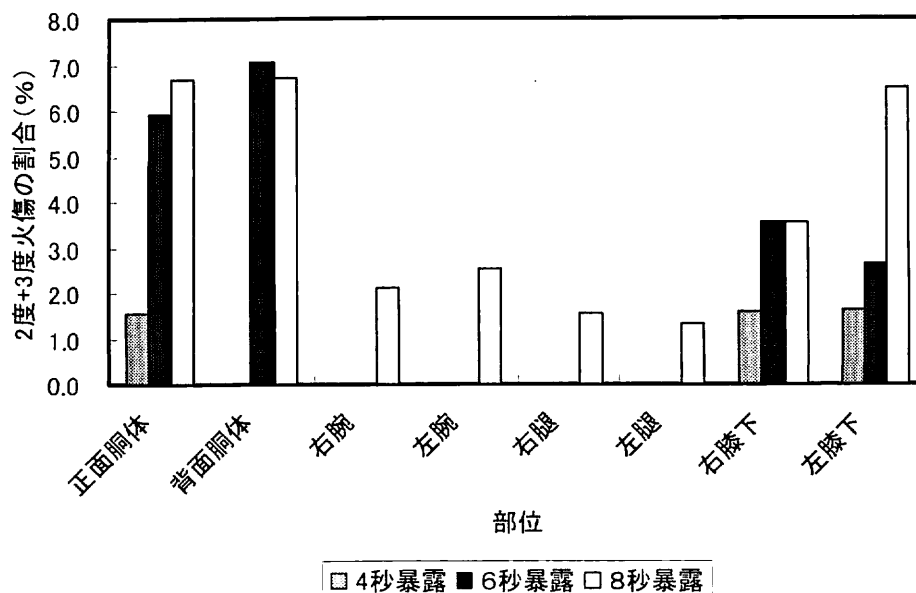



図 3.3.3.4 防火服の各部位ごとの火傷割合（第 2 度+3 度火傷の合計）

米国火傷協会の火傷データをまとめた報告 [76]、東京都の熱傷データの報告 [77] と表 3.3.3.2 の火傷の重症度の基準から、ここで試験した防火服を着用した際に、84±4W/m^2 の熱環境に 4 ～8 秒暴露された際の生存率、死亡率と重症度を表 3.3.3.3 に示す。

表 3.3.3.3 防火服を着用した際に、84±4W/m^{2}の熱環境に 4 ～8 秒暴露された際の生存率、死亡率と重症度

暴露時間（秒）	生存率(%)[76]				死亡率(%)[77]		重症度
	20～29.9才	30～39.9才	40～49.9才	50～59.9才	Burn Index	死亡率(%)	
4 秒暴露	99	99	99	99	2.4	3.9	軽症
6 秒暴露	98	99	97	95	12.4	9.6	中等症
8 秒暴露	98	98	93	88	23.3	26.3	重症

どの暴露に対しても生存率は比較的に高く生命危険は低いが、重症度は暴露時間により 4 秒暴露が軽症、6 秒暴露が中等症、8 秒暴露が重症となり、本当の安全な暴露時間は 4 秒暴露までであり、それ以上の暴露は入院が必要となる。

[76] J.R.Saffle, B.Davis, P.Williams and the American Burn Association Registry Participant Group, " Recent Outcome in the Treatment of Burn Injury in the United States: A Report From the American Burn Association Patient Registry", Journal of Burn care & Rehabilication, p.219, 1995
[77] 松村正久他 10 名、"東京都の 11 熱傷ユニットにおける過去 10 年間の熱傷統計"、日本熱傷学会誌、第 22 巻、第 1 号、(1996)

3.3.4 まとめ

N社より依頼を受けた作業服、防火服のサーマルマネキンを用いた耐熱評価をまとめると次のようになる。

（1）作業服を84±4ｋW/m^{2}の熱環境に3秒暴露した場合、生存率は高いが重症度は重症となり、専門施設への入院が必要となる。

（2）防火服を84±4ｋW/m^{2}の熱環境に4～8秒暴露した場合、生存率は高いが、重症度は暴露時間により4秒暴露が軽症、6秒暴露が中等症、8秒暴露が重症となり、本当の安全な暴露時間は4秒暴露までであり、それ以上の暴露は入院が必要となる。

3.4　A市の消防局が使用の防火服などのサーマルマネキンによる耐熱性評価

Ａ市消防局より、現用の防火衣および改良防火服等の耐熱性能をサーマルマネキンにより評価したいとの要望があり、Ａ市消防局と共同で行ったサーマルマネキン試験結果の概要を以下に示す。

3.4.1　実験実施日及び場所

実験実施日　：　１回目　平成１３年７月４日（水）　～　７月５日(木)
　　　　　　　　２回目　平成１４年１０月８日（火）　～　１０月９日(水)

実験場所　：　独立行政法人　消防研究所　防災実験棟　サーマルマネキン室

3.4.2　試験生地組成および試験条件など

（１）試験生地組成

１）１回目実験

１回目に試験した現用防火服などの素材生地を表3.4.2.1に示す。

表 3.4.2.1　現用防火衣などの主要素材

品　　名	主　　要　　材　　料
防火衣	メタ系アラミド繊維１００%の基布にアルミ蒸着加工を施し，４フッ化エチレン高ポリマーフィルムを施したものを主体としたもの。
ひざカバー付長靴	靴本底　　天然ゴム 胴，甲　　配合ゴム ひざカバー　　軽量耐熱ゴム引布 周辺補強　　ケブラー二重巻き
しころ	基布は，アラミドシルバー
作業手袋	甲側表面……パラ系アラミド繊維ニット 甲側裏面……メタ系アラミド繊維ニット 掌側…………パラ系アラミド繊維ニット
冬・夏用作業服	芳香族ポリアミドとポリノジック又はポリエステルの混紡で混紡率は、次のとおりである。 ・芳香族ポリアミド……65～80% ・その他の繊維…………20～35%
救助服	芳香族ポリアミド繊維 99%以上，導電性繊維１%以下の混紡
作業用下衣	ポリエステル 37%、綿 63%　鹿の子織

2）２回目実験

２回目に試験した改良防火服などの素材生地を表3.4.2.2に示す。

表 3.4.2.2　改良防火服などの主要素材

品　　　名	主　　要　　材　　料
A 試作防火衣１ （ゴールド色）	外衣　（生地表タイプ） メタ系アラミド繊維９０％・パラ系アラミド繊維１０％の基布を主体とし，衿裏にメタ系アラミド繊維１００％のリップストップ生地を使用したもの。 撥水・撥油加工及び静電加工を施したもの。 内衣 透湿防水層及び断熱層を一体化した生地からなる二重構造とする。 透湿防水層はゴアテックスを使用 断熱層は，アラミド繊維１００％を使用
B 試作防火衣２ （シルバー色）	外衣　（シルバータイプ） メタ系アラミド繊維４０％以上５０％未満・パラ系アラミド繊維５０％以上の基布にアルミ蒸着加工を施し，４フッ化エチレン高ポリマーフィルムを施したものを主体とし，衿裏にメタ系アラミド繊維１００％のリップストップ生地を使用したもの。 内衣 透湿防水層及び断熱層を一体化した生地からなる二重構造とする。 透湿防水層はゴアテックスを使用 断熱層は，空隙率の高いアラミド繊維１００％を使用
C 現用防火衣３ （シルバー色）	外衣　（シルバータイプ） メタ系アラミド繊維１００％の基布にアルミ蒸着加工を施し，４フッ化エチレン高ポリマーフィルムを施したものを主体としたもの。 内衣 透湿防水層及び断熱層を一体化した生地からなる二重構造とする。 透湿防水層はメタ系及びパラ系ポリアミド繊維混紡の不織布を使用 断熱層は，メタ系ポリアミド繊維及び難燃レーヨン混紡を基布としたものを使用

D 試作防火衣４ （シルバー色）	外衣　（シルバータイプ） 　パラ系ポリアミド繊維１００％，ＰＢＯ繊維１００％の１対１の交編ニットの基布にアルミ蒸着加工を施し，４フッ化エチレン高ポリマーフィルムを施したものを主体としたもの。 内衣 　透湿防水層及び断熱層を一体化した生地からなる二重構造とする。 　透湿防水層は，ウレタン系プロラインを使用 　断熱層は，メタ系アラミド繊維９５％・パラ系アラミド繊維５％の基布としたものを使用
E 試作防火ズボン １，２	外衣　生地表タイプ（ゴールド・紺） 　メタ系アラミド繊維９０％・パラ系アラミド繊維１０％の基布を主体とし，衿裏にメタ系アラミド繊維１００％のリップストップ生地を使用したもの。 　撥水・撥油加工及び静電加工を施したもの。 内衣 　透湿防水層及び断熱層を一体化した生地からなる二重構造とする。 　透湿防水層はゴアテックスを使用 　断熱層は，アラミド繊維１００％を使用
F 試作防火ズボン ３	外衣　生地表タイプ（紺色） 三層構造ラミネート加工布を主要基布としたもの。 表面生地 パラ系アラミド繊維１００％を使用 中層フィルム フッ素樹脂多孔質フィルムを使用 裏地 難燃アクリル編を使用
しころ	シルバータイプ 　メタ系アラミド繊維１００％の基布にアルミ蒸着加工を施し，４フッ化エチレン高ポリマーフィルムを施したものを主体としたもの。
試作しころ	シルバータイプ 　パラ系ポリアミド繊維１００％，ＰＢＯ繊維１００％の１対１の交編ニットの基布にアルミ蒸着加工を施し，４フッ化エチレン高ポリマーフィルムを施したものを主体としたもの。

防火靴	試作１ 胴及び甲　天然ゴム，裏布　スフ＃30/1200 試作２ 胴及び甲　天然皮革，裏布　ケブラー
作業手袋	甲側表面……パラ系アラミド繊維ニット 甲側裏面……メタ系アラミド繊維ニット 掌側…………パラ系アラミド繊維ニット
夏用作業服	芳香族ポリアミドとポリノジック又はポリエステルの混紡の平織で密度が粗である。 ・混紡率は、芳香族ポリアミド……65〜80% その他の繊維…………20〜35%
半袖作業用下衣	ポリエステル37%、綿63%の混紡　鹿の子織

（２）前処理

特定の前処理は行なわなかった。

（３） 試験条件など

１） １回目実験

１回目の試験条件を表3.4.2.3に示す。

表 3.4.2.3　現用防火服のサーマルマネキンの試験条件

実験番号	暴露熱流束 (kW/m²)	暴露時間 (秒)	下着(ブリーフなし)	作業着など	外套型防火服	手袋	防火長靴	防火帽
防火服 1-1	84±4	5	長袖Ｔシャツ	冬用	○	×	○	○(しころ)
防火服 1-2	84±4	4	半袖Ｔシャツ	夏用	○	×	○	○(しころ)
防火服 1-3	84±4	4	長袖Ｔシャツ	レスキュー用	○	×	×	○(耳当て)
防火服 1-4	84±4	4	長袖Ｔシャツ	レスキュー用	○	○	×	○(耳当て)
防火服 1-5	84±4	4	長袖Ｔシャツ	冬用	○	○	○	○(しころ)
防火服 1-6	84±4	4	半袖Ｔシャツ	夏用	○	○	○	○(しころ)
防火服 1-7	84±4	4	長袖Ｔシャツ	冬用	○	×	×	○(しころ)
防火服 1-8	84±4	4	半袖Ｔシャツ	夏用	○	×	×	○(耳当て)

３） ２回目実験

２回目の試験条件を表3.4.2.4に示す。

（４） 試験手順

前述の3.2.3と同手順で行った。

表 3.4.2.4　改良防火服のサーマルマネキンの試験条件

実験番号	暴露熱流束(kW/m^2)	暴露時間(秒)	作業用下衣(半袖)	作業着	防火服(上着)	防火ズボン	手袋	防火長靴	防火帽(しころ)
防火服 2-1	84±4	4	○	夏用	A	E	×	×	○
防火服 2-2	84±4	10	○	夏用	A	E	×	○(試作1)	○
防火服 2-3	84±4	10	○	夏用	B	E	×	×	○
防火服 2-4	84±4	10	○	夏用	B	E	○	○(試作 2)	○
防火服 2-5	84±4	6	○	夏用	C	E	○	○(活動靴)	○
防火服 2-6	84±4	6	○	夏用	D	F	○	○(試作 2)	○(試作)

3.4.3　試験結果と考察

（1） 1回目現用防火服の実験

1回目の現用防火服の試験結果を一覧表にして表3.4.3.1に示す。

表 3.4.3.1　現用防火服のサーマルマネキン試験結果一覧

月日	試料など	暴露時間(秒)	第一度火傷割合(%)	第2度火傷割合(%)	第3度火傷割合(%)	第2度+第3度火傷割合(%)	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
2001年7月4日	防火服1-1	5	3.2	28.1	43.2	71.3	–	–
	防火服1-2	4	2.5	11.6	39.4	51.0		
	防火服1-3	4	2.5	11.5	1.6	13.1	–	–
	裸マネキン	4	0.0	0.0	100.0	100.0	80.1	17.1
2001年7月5日	裸マネキン	4	0.0	0.0	100.0	100.0	80.6	16.7
	防火服1-4	4	2.0	17.8	2.1	19.9	–	–
	防火服1-5	4	5.2	13.5	9.2	22.7		
	防火服1-6	4	2.0	19.4	44.5	63.9		
	防火服1-7	4	1.2	11.7	3.7	15.5	–	–
	防火服1-8	4	2.1	22.4	5.1	27.5	–	–
	裸マネキン	4	0.0	0.0	100.0	100.0	82.4	16.2
裸マネキン(平均値)		4	0.0	0.0	100.0	100.0	81.0	16.7

また、暴露前から3秒間隔で15秒後までの防火服の燃焼状況を図3.4.3.1及び図3.4.3.2に示す。

防火服1-1、1-2、1-5、1-6の下半身が暴露後9秒程度まで火炎を伴っているのが分る。試験条件を見るといずれも防火長靴を使用しており、この長靴のひざカバーが燃えているようである。同様な条件の防火服1-7、1-8を見ると下半身に火炎を伴っておらず、この場合は防火長靴を使用していないことからも明らかである。火傷程度を見ても下半身部分に火炎を伴って燃えている防火服1-1、1-2、1-5、1-6は2度+3度火傷の割合が他のものと比較して多く、火傷危険が高いと言える。防火服外套部分で火炎が見られるが、これはバンドの部分が燃えているものである。また、下半身部分の作業ズボンの収縮が大きいことも見て取れる。現用防火服は上着の防火衣に比較して下半身部分の耐熱性能が劣るようである。

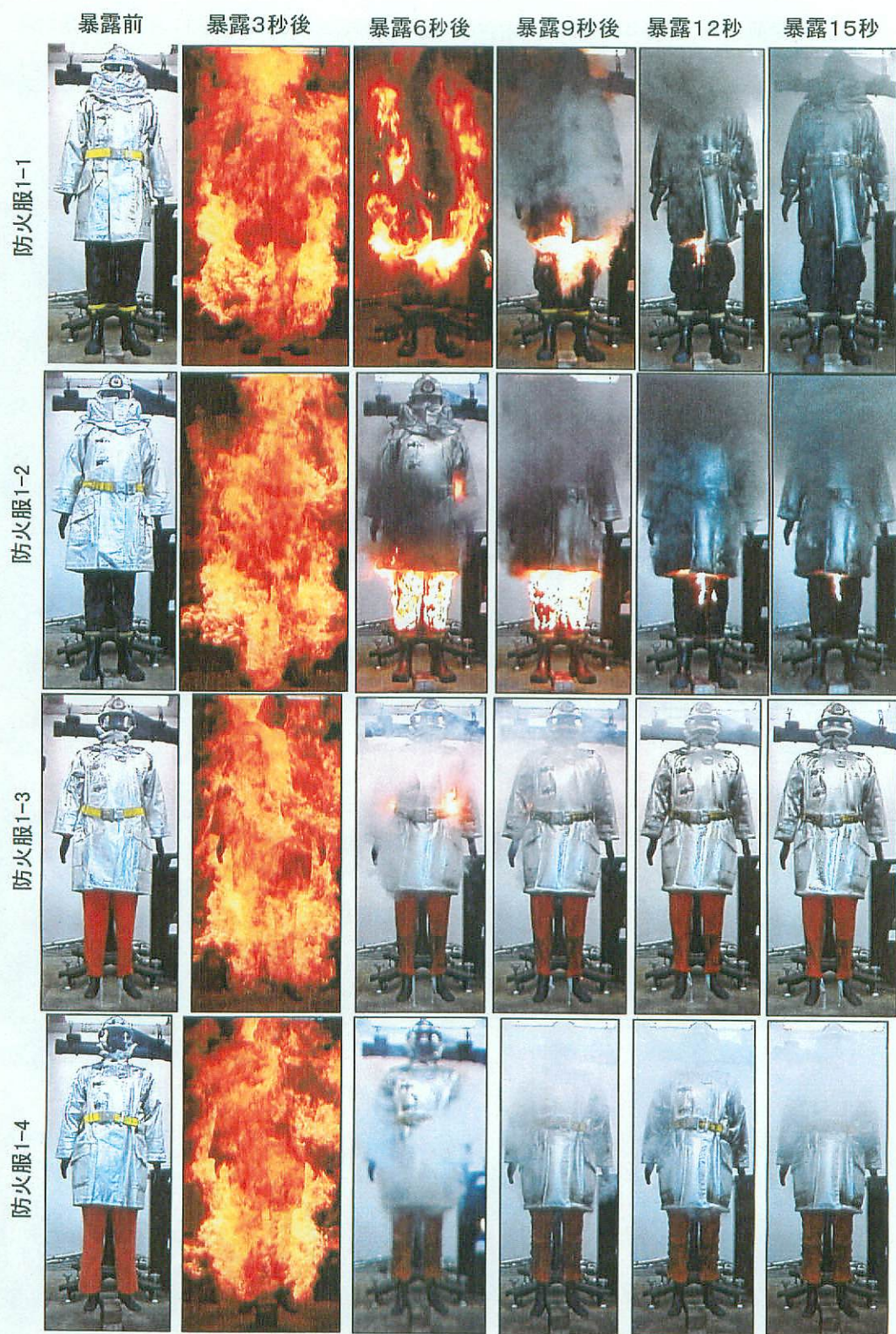



図 3.4.3.1　暴露後の防火服 1-1～1-4 の燃焼状況

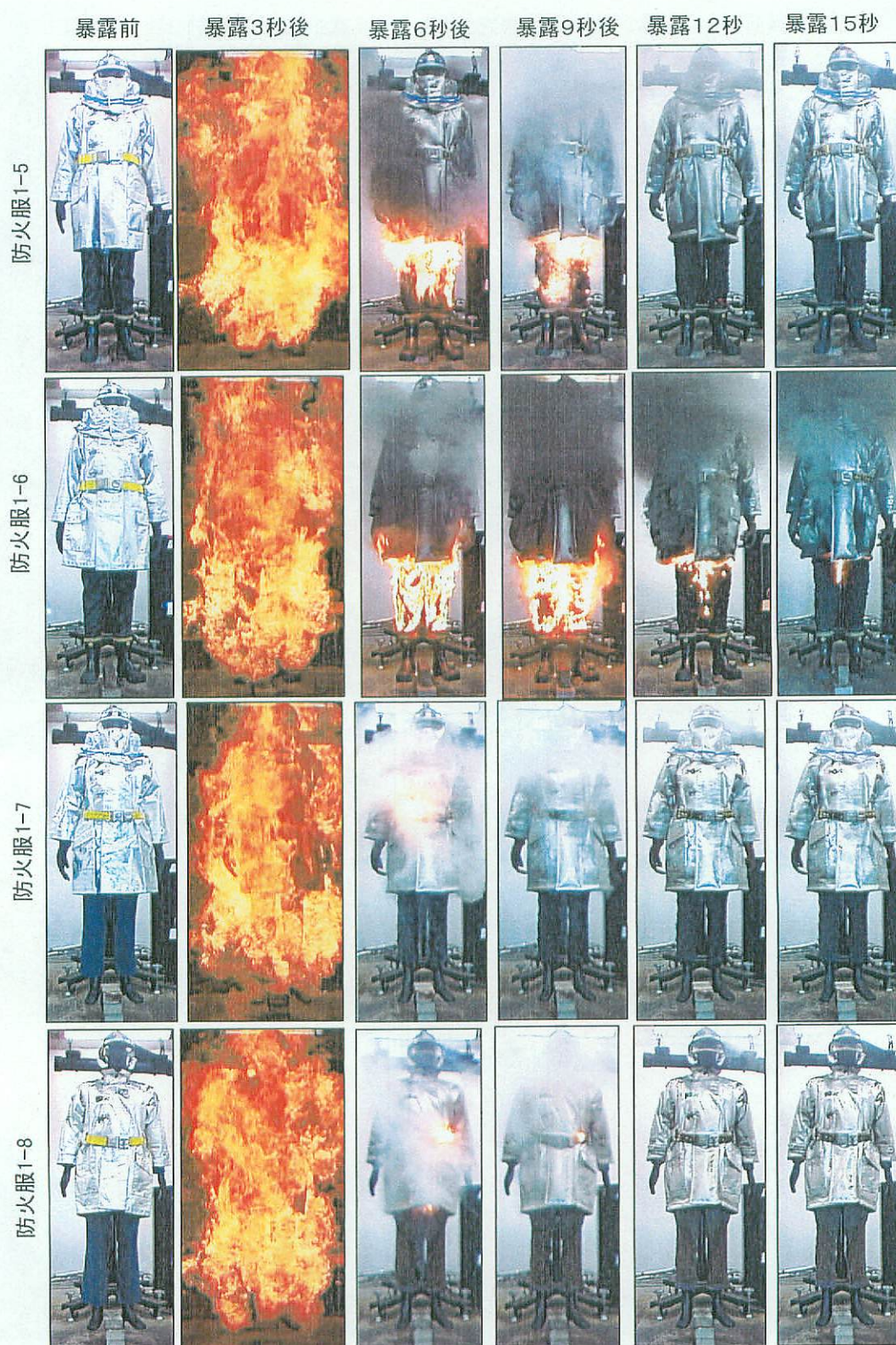



図 3.4.3.2　暴露後の防火服 1-5～1-8 の燃焼状況

火傷の詳細を見るために、マネキン体表面を頭部、胴体、腕部、脚部の各部に分けそれぞれの２度火傷+３度火傷の火傷内訳を示すと表 3.4.3.2 となる。

表 3.4.3.2　現用防火衣のサーマルマネキン試験による各部における火傷割合

部 位	2度+3度火傷割合(%)							
	防火服1-1	防火服1-2	防火服1-3	防火服1-4	防火服1-5	防火服1-6	防火服1-7	防火服1-8
頭部	4.5	2.3	5.7	3.0	0.0	2.3	0.0	2.5
胴体部	15.6	5.5	0.0	0.0	0.0	12.2	0.0	0.4
腕部	12.2	5.2	1.8	3.9	3.7	10.1	0.0	4.7
脚部	39.0	38.0	5.6	13.0	18.9	39.4	15.5	19.9
合計	71.3	51.0	13.1	19.9	22.7	63.9	15.5	27.5

この表を見ても、脚部の２度+３度火傷の割合が他の部位に比較して多いことが分る。レスキュー用作業着を着たもの、防火服 1-3、1-4 は火傷割合が少なく他のものに比較して耐熱性能も良いと言える。防火服 1-1 は、全体的に各部の火傷が多いのは暴露時間が他の４秒に比較して５秒と長いためである。その結果として、胴体部にも火傷が 15.6%とかなり見られる。防火服 1-6 の胴体部の火傷が 12.2%と大きいのは下半身からの火炎が胴体にまで影響したものと考えられる。

米国火傷協会の火傷データをまとめた報告 [76]、東京都の熱傷データの報告 [77] と表 3.3.3.2 の火傷の重症度の基準から、ここで試験した防火服を着用した際に、84±4 k W/m^2 の熱環境に４～5 秒暴露された際の生存率、死亡率と重症度を表 3.4.3.3 に示す。

表 3.4.3.3　現用防火服を着用した際に、84±4 k W/m^2 の熱環境に４～8 秒暴露された際の生存率、死亡率と重症度

防火服の種類	米国の統計データ 生存率(%)[77]				日本の統計データ 死亡率(%)[78]		重症度
	20～29.9才	30～39.9才	40～49.9才	50～59.9才	Burn Index	死亡率(%)	
防火服 1-1	65	55	42	20	57	70.7	重症
防火服 1-2	90	85	75	56	45	62.7	重症
防火服 1-3	99	99	98	98	7	3.9	軽症
防火服 1-4	99	98	97	95	11	9.6	中等症
防火服 1-5	99	98	96	95	16	9.6	中等症
防火服 1-6	75	67	55	31	54	70.7	重症
防火服 1-7	99	99	98	97	10	9.6	中等症
防火服 1-8	98	97	94	91	16	9.6	中等症

76) J.R.Saffle, B.Davis, P.Williams and the American Burn Association Registry Participant Group, " Recent Outcome in the Treatment of Burn Injury in the United States: A Report From the American Burn Association Patient Registry", Journal of Burn care & Rehabilication, p.219, 1995

77) 松村正久他 10 名、"東京都の 11 熱傷ユニットにおける過去 10 年間の熱傷統計"、日本熱傷学会誌、第 22 巻、第 1 号、(1996)

（2） 2回目改良防火服の実験

2回目の改良防火服の試験結果を一覧表にして表3.4.3.4に示す。

表 3.4.3.4　改良防火服のサーマルマネキン試験結果一覧

月日	試料など	暴露時間（秒）	第一度火傷割合（%）	第2度火傷割合（%）	第3度火傷割合（%）	第2度+第3度火傷割合（%）	平均熱流束（kW/m²）	標準偏差（kW/m²）
2002年10月8日	裸マネキン	4	0.0	1.7	98.3	100.0	80.9	17.7
	防火服2-1	4	0.0	1.0	2.3	3.3		
	防火服2-2	10	6.6	12.7	9.6	22.4		
	防火服2-3	10	3.1	17.0	13.6	30.6	–	–
	防火服2-4	10	4.8	20.5	13.1	33.6	–	–
	裸マネキン	4	0.0	0.6	99.4	100.0	81.6	16.2
2002年10月9日	裸マネキン	4	0.0	0.6	99.4	100.0	82.2	16.1
	防火服2-5	6	0.9	4.5	1.3	5.8	–	–
	防火服2-6	6	1.5	12.3	3.0	15.3	–	–
	裸マネキン	4	0.0	0.6	99.4	100.0	81.2	16.1
裸マネキン（平均値）		4	0.0	0.9	99.1	100.0	81.5	16.5

また、暴露 150 秒後の火傷状態を図 3.4.3.3 に示す。

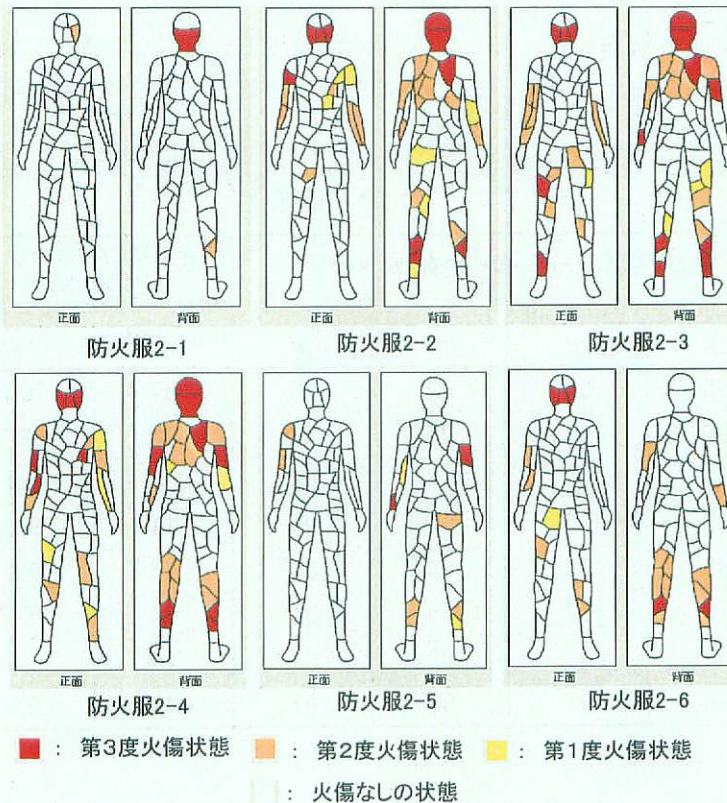



図 3.4.3.3　暴露 150 秒後の火傷状態

また、火傷の詳細を見るために、マネキン体表面を頭部、胴体、腕部、脚部の各部に分

けそれぞれの２度火傷+３度火傷の火傷内訳を示すと表 3.4.3.5 となる。

表 3.4.3.5　改良防火服のサーマルマネキン試験による各部における火傷割合

部　位	2度+3度火傷割合(%)					
	防火服 2-1	防火服 2-2	防火服 2-3	防火服 2-4	防火服 2-5	防火服 2-6
暴露時間(秒)	4	10	10	10	6	6
頭部	2.7	5.4	5.4	5.4	0.0	1.5
胴体部	0.0	7.0	8.4	9.2	0.0	0.0
腕部	0.0	5.4	5.6	6.9	2.4	2.9
脚部	0.5	4.5	11.1	12.1	3.4	10.9
頭部除く合計	0.5	16.9	25.1	28.2	5.8	13.8
合計	3.3	22.4	30.6	33.6	5.8	15.3

防火服2-1の火傷領域は頭部と脚部の一部の3.3%しか火傷を負っていない。しかし、現用防火服では同じ暴露時間の４秒では、前述のように悪いもので約64%、良いものでも約13%の火傷をおっており、防火服がかなり改善されていることが分る。

１０秒暴露では２度+３度火傷の割合合計は22.4%～33.6%負っており、防火服2-2のほう（表3.4.2.4を参照）、すなわち防火服Ａのほうが合計で約8～11%近く火傷割合を減じている。ただ、同じ防火ズボンＥ（色は異なる）を使用しても、実験によって脚部の火傷割合が4.5%～12.1%と大きな差が生じた。

６秒暴露では２度+３度火傷の割合合計は5.8%、15.3%となっており、防火衣2-5より防火衣2-6のほうが約10%程度火傷割合が少ない。これは図3.4.3.2や表3.4.3.5から脚部の火傷が防火服2-6のほうが約７%多く負っていることから、防火ズボンの性能がＥ（防火服2-5）よりＦ（防火服2-6）の方が悪いことを示している。

米国火傷協会の火傷データをまとめた報告[76]、東京都の熱傷データの報告[77]と表3.3.3.2の火傷の重症度の基準から、ここで試験した防火服を着用した際に、84±4ｋW/m^{2}の熱環境に４～5秒暴露された際の生存率、死亡率と重症度を表3.4.3.6に示す。

表を見ると、４秒暴露での死亡率は3.9%で、頭部を除くと火傷は脚部に僅か0.5%程度の火傷しか負わない。また、マネキンの構造上、防火帽及びしころなどを確実に装着できないこともあり、防火服のみの性能を見るのであれば、頭部を除いた火傷で判断する方が良い。

６秒暴露では、頭部を除くと防火服2-5、2-6共死亡率は3.9%となり、また、重症度も軽症となり、この程度の暴露までは十分この防火服は耐えられるといってよい。

---

[76] J.R.Saffle, B.Davis, P.Williams and the American Burn Association Registry Participant Group, " Recent Outcome in the Treatment of Burn Injury in the United States: A Report From the American Burn Association Patient Registry", Journal of Burn care & Rehabilication, p.219, 1995

[77] 松村正久他 10 名、"東京都の 11 熱傷ユニットにおける過去 10 年間の熱傷統計"、日本熱傷学会誌、第 22 巻、第 1 号、(1996)

しかし、１０秒暴露になると死亡率は、頭部を除くと9.6%となり、重症度で言うと、中等症となる。重症度の観点から考えた場合は、この防火服は１０秒暴露までは耐えられないといえる。

表 3.4.3.6　改良防火服を着用した際に、84±4kW/m²の熱環境に４～10 秒暴露された際の生存率、死亡率と重症度

防火服の種類	暴露時間(秒)	米国の統計データ 生存率(%)[77]				日本の統計データ 死亡率(%)[78]		重症度
		20～29.9才	30～39.9才	40～49.9才	50～59.9才	Burn Index	死亡率(%)	
防火服2-1	4	99	99	99	99	3(0.5)	3.9(3.9)	中等症(軽症)
防火服2-2	10	99	99	97	94	16(10.6)	9.6(9.6)	中等症(中等症)
防火服2-3	10	98	98	93	87	22(16.6)	26.3(9.6)	重症(中等症)
防火服2-4	10	98	97	91	85	23(17.9)	26.3(9.6)	重症(中等症)
防火服2-5	6	99	99	99	99	4(3.6)	3.9(3.9)	軽症(軽症)
防火服2-6	6	99	99	99	97	9(7.6)	3.9(3.9)	中等症(軽症)

3.4.4　まとめ

Ａ市消防局より依頼を受けた現用防火服、改良防火服のサーマルマネキンを用いた耐熱評価をまとめると次のようになる。

（１）現用防火服を84±4ｋW/ｍ²の熱環境に4秒暴露した場合、特に防火長靴のひざカバーの防火性能が弱く、重症度で重症となるケースがある。

（２）改良防火服を84±4ｋW/ｍ²の熱環境に4～10秒暴露した場合、現用防火服よりかなり改善され、頭部を除いて判断すると4、６秒暴露ならば重症度は軽症となるが、10秒暴露の場合に重症度は中等症となるケースがある。

3.5 主要都市防火服などのサーマルマネキンによる耐熱性評価

現在の防火服などの耐熱性能は、各自治体の消防独自の仕様に定められており、日本全国で統一された評価基準はない。したがって、現在、実際に使用されている防火服の耐熱性能を調査する目的で、日本の主要６都市の消防用防火服のサーマルマネキン試験を実施した。結果の概要を以下に示す。尚、自治体名は仮にＡ、Ｂ、Ｃ、Ｄ、Ｅ、Ｆとする。

3.5.1 実験実施日、実施サンプル及び場所

実験実施日／　：　１回目　2003年6月3日(火)　Ａ、Ｂ
　実施防火服　　　２回目　2003年6月5日(木)　Ｃ、Ｄ
　　　　　　　　　３回目　2003年6月10日(火)　Ｅ、Ｆ

実験場所　：　独立法人　消防研究所　防災実験棟　サーマルマネキン室

3.5.2 試験生地構成および試験条件など

（１）防火服の構成

主要６都市の防火服の構成を表 3.5.2.1 に示す。

表 3.5.2.1　主要都市防火服の構成

主要都市	外層	透湿防水層	断熱層等
A	織物	膜と織物の貼合せ	4 層キルティング
B	織物	膜と織物の貼合せ	織物
C	銀面織物	膜と織物の貼合せ	織物
D	織物	膜と織物の貼合せ	4 層キルティング
E	銀面織物	無し	3層キルティング
F	銀面織物	膜と織物の貼合せ	織物

（２）前処理

洗濯は行っていない。ただし、サーマルマネキン試験をする前に温度 20±2℃、相対湿度 65±5%の恒温恒湿槽で 24 時間以上調整した後、速やかに試験を行った。

（３）試験条件

暴露熱流束は裸マネキンで 4 秒暴露した際の平均熱流束が 84±4 kW/m^2 とした。この暴露条件はサーマルマネキンのラウンドロビン試験と同等である。試験は下着などを使用せず、サーマルマネキンに直接、防火服を着衣させた。暴露時間は全て８秒とし、各防火服とも３着づつ（ｎ＝３）試験を実施した。

（４）試験手順

前述の 3.2.3 と同手順で行った。

3.5.3 試験結果と考察

（１）暴露前後の防火服のサイズ、収縮率、および写真観察

耐熱性を防火服の収縮および炭化度合いから考察するために、暴露前後のサイズおよび収縮率を測定した。防火服のサイズ(平面)とマネキンに着せた時の余裕・密着性（たるみ）である。データは各防火服とも３点の平均値である。

1）平面

平面の暴露前後のサイズ、および暴露による収縮率を表 3.5.3.1 に示す。

表 3.5.3.1　平面の暴露前後のサイズ、収縮率

試料		胸周り	腰周り	尻周り	腕周り	腕長さ	脚周り（上）	脚周り（中）	脚周り（下）	上着背丈	ズボン長さ
A	前	169	113	137	55	60	81	61	48	87	110
	後	160	113	131	53	56	84	64	46	81	108
	収縮率	5	0	4	3	6	−2	−4	5	7	2
B	前	167	108	136	53	63	81	64	49	87	108
	後	158	107	127	53	60	83	61	47	83	107
	収縮率	3	1	7	0	5	−2	5	5	6	1
C	前	171	109	139	57	58	86	65	46	92	112
	後	159	108	124	58	56	72	43	40	89	104
	収縮率	7	1	12	−2	2	16	35	13	3	7
D	前	153	115	129	50	61	87	65	55	85	116
	後	126	114	135	40	53	72	55	44	71	108
	収縮率	18	1	−4	20	13	17	18	20	18	8
E	前	160	115	127	48	68	81	63	51	89	108
	後	159	111	129	×	64	79	59	×	82	100
	収縮率	1	3	−2	×	6	2	6	×	8	8
F	前	161	106	139	54	59	88	64	45	90	111
	後	152	106	124	50	56	68	41	33	86	104
	収縮率	6	0	11	7	3	23	23	27	4	6

× ：損傷激しく測定不能

①暴露前のサイズ

暴露前のサイズを図 3.5.3.1 に示す。

各主要都市ともに上着背丈、ズボン長さ、腕長さは同寸法であり、サイズ的にはほぼ同じである。ただし、都市D、Eは若干サイズが小さい。デザインの違いにより部位の寸法に差がある。特に、都市D、Eの胸周り、尻周り、腕周りは小さ目である。

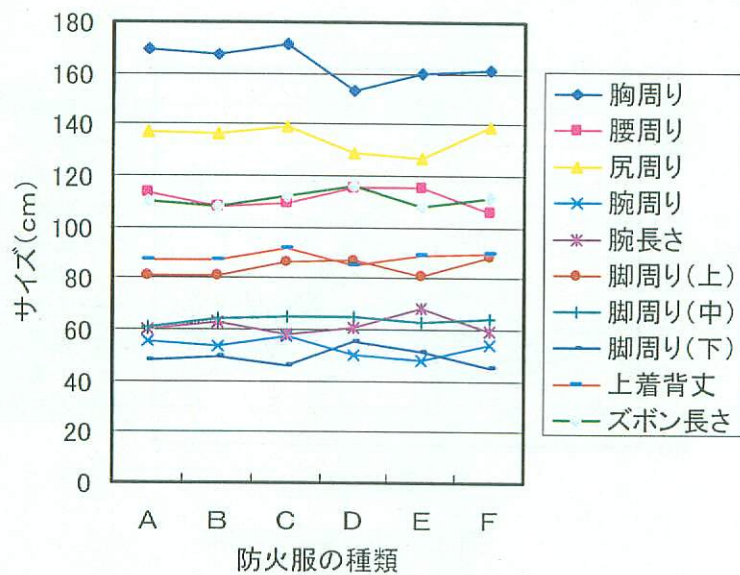



図 3.5.3.1　暴露前の平面サイズ

②暴露後のサイズ、および収縮率

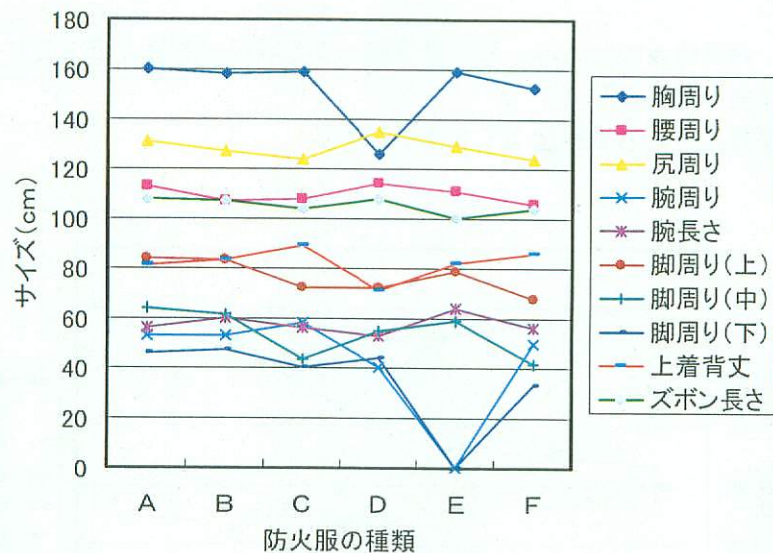
暴露後のサイズを図 3. 5. 3. 2 に示す。

(注) 測定不能は０ｃｍとした

図 3.5.3.2　暴露後の平面サイズ

暴露前のサイズ（図 3.5.3.1）と比較すると、暴露後の都市毎のみだれが大きく、都市ごと、部位ごとに収縮性に差があることが分かる。Ｅは腕周り、足周りの収縮、炭化、損傷が激しく、測定不能のため０ｃｍとなっている。

収縮率を図 3.5.3.3 に示す。

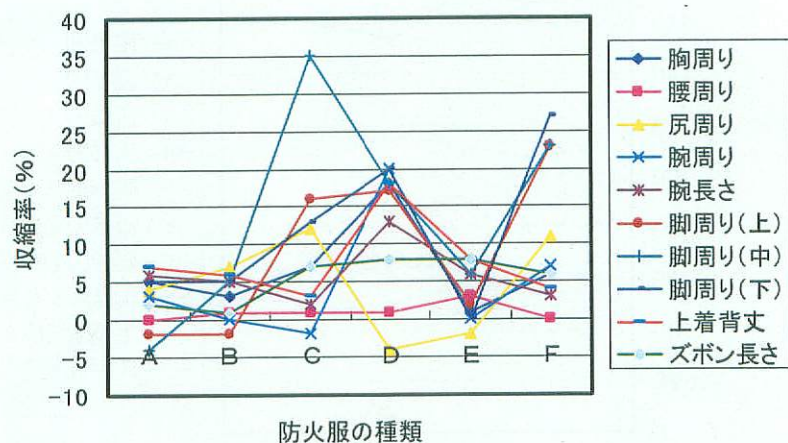



図 3.5.3.3　平面収縮率

図からＣ、Ｄ、Ｆの収縮率が高く、Ａ、Ｂ、Ｅは低いことが分かる。
また、部位別では足周りの収縮が大きい。腰周りは上着で覆われているため収縮率が小さく、いずれの防火服も安定している。消防士の活動面から考えれば、損傷を受けにくく収縮率の小さいほうが防火衣として優れている。この観点から、平面の損傷、収縮率の小さいＡ、Ｂが防火衣として適している。

2）たるみ

暴露前後のたるみ、および暴露による収縮率を表 3.5.3.2 に示す。

①暴露前のたるみ

暴露前のたるみを図 3.5.3.4 に示す。

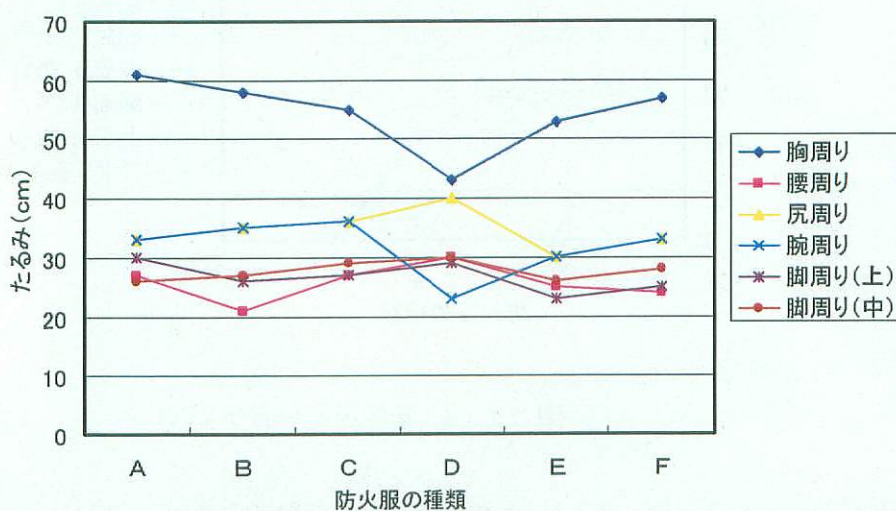



図 3.5.3.4　暴露前のたるみ

Ｄは他の防火服とかなり様相が異なる。胸周り、腕周りのたるみが小さく、反対に尻回りのたるみが他の防火服より大きくなっている。Ｄは他都市と比較するとデザイン的な違いがある。

②暴露後のたるみ、収縮率など

表 3. 5. 3. 2 に示すように、暴露後のマネキンの着衣状態でのたるみを測定できない部位が多い。

表 3.5.3.2　たるみの暴露前後のサイズ、収縮率

(単位：サイズ:ｃｍ　、収縮率:%)

試料		胸周り	腰周り	尻周り	腕周り	脚周り(上)	脚周り(中)
A	前	61	27	33	33	30	26
	後	53	27	29	29	27	26
	収縮率	14	0	13	13	10	0
B	前	58	21	35	35	26	27
	後	54	21	30	30	25	25
	収縮率	7	0	14	14	4	7
C	前	55	27	36	36	27	29
	後	55	24	31	31	17	×
	収縮率	0	11	14	14	41	×
D	前	43	30	40	23	29	30
	後	×	×	×	×	×	×
	収縮率	×	×	×	×	×	×
E	前	53	25	30	30	23	26
	後	×	25	28	28	×	×
	収縮率	×	0	7	7	×	×
F	前	57	24	33	33	25	28
	後	49	24	27	27	15	×
	収縮率	12	0	18	18	24	×

× :損傷激しく測定不能

表では測定できない部位に×印を入れている。たるみを測定できない理由は、主として炭化が激しく、柔軟性を失っているためである。無理に測定しようとすればボロボロに砕け落ちる。

Ｄは全部位で測定不能である。Ｃ、Ｅ、Ｆも測定できない部位があり、特にズボンの損傷が激しい。

たるみ測定は暴露後の防火衣の柔軟性からみた耐熱性を適切に評価できる。

平面データ同様、たるみデータはＡ、Ｂの収縮性が優れていることを示している。

4）暴露後の写真観察

図3.5.3.5に暴露後の防火服の状態を写真で示す。各都市ごとに正面、背面、上着内側を示す。

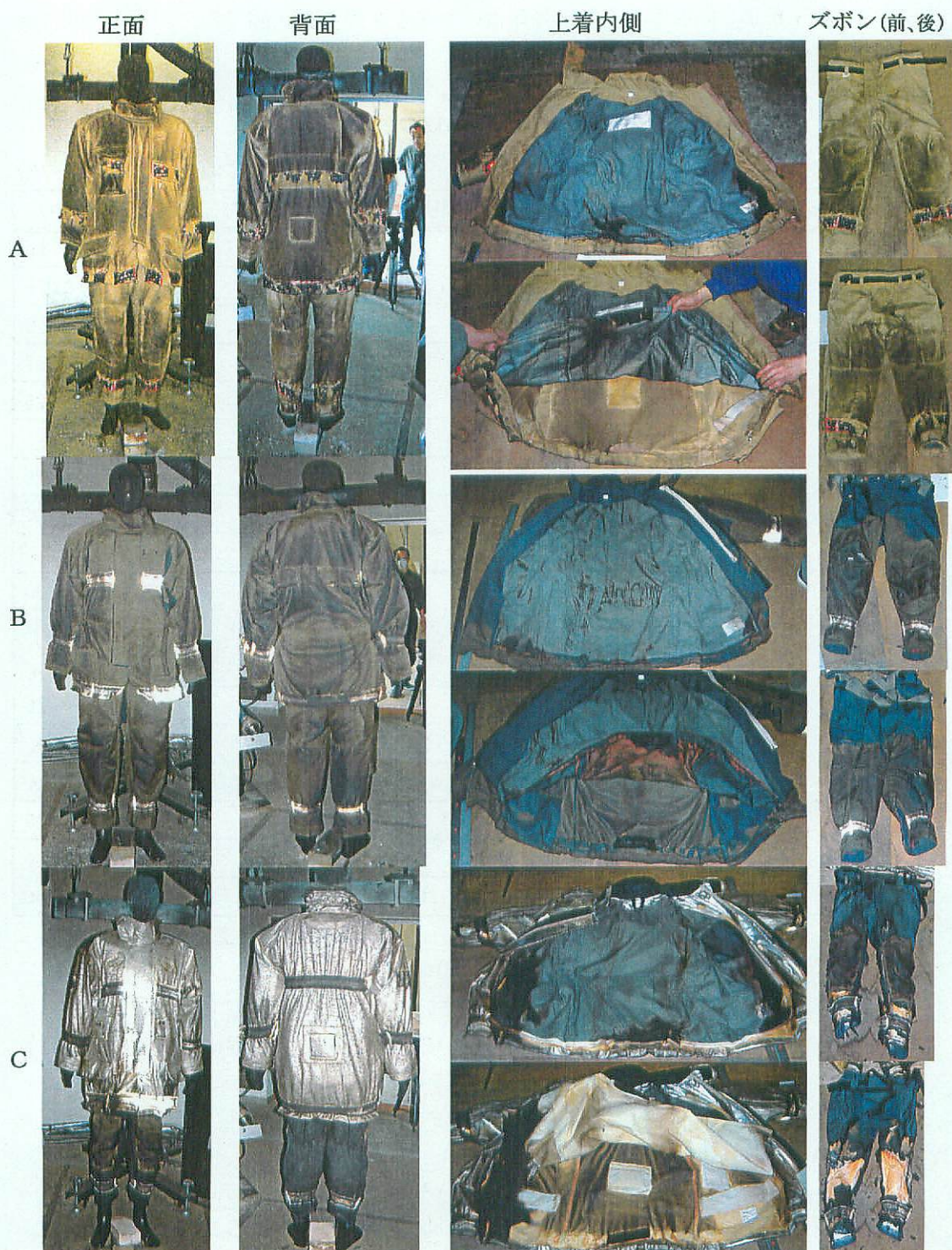
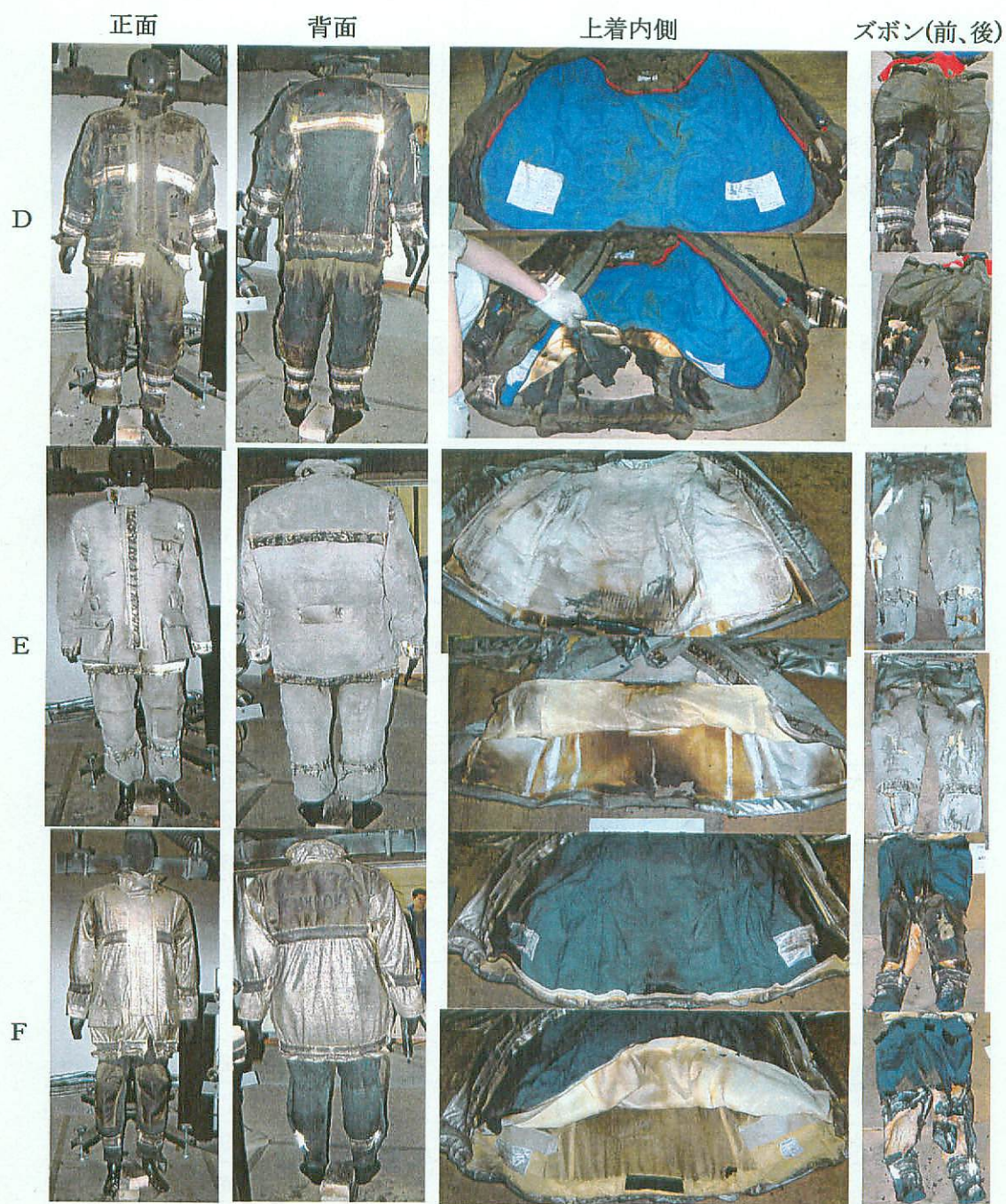



図 3.5.3.5　暴露後の防火服の状態

都市別では、Dが上着、ズボンともに極めて損傷が激しい。これに対して、A、B特にAは上着、ズボンともに損傷が少ない。

上下別では、C、D、E、Fのズボンの損傷が激しく、下半身のガードが弱い。

写真観察は平面およびたるみの暴露後のサイズ測定、収縮率のデータともよく一致している。

4）まとめ

収縮、炭化、損傷の外面的、目視的な耐熱性の順序はＡ＞Ｂ＞＞Ｃ≧Ｆ＞Ｅ＞＞Ｄとなる。これらのデータの火傷への影響も含めて、次に考察する。

（２）　火傷度

試験結果を一覧表にして表 3. 5. 3. 3 に示す。

表 3.5.3.3　主要都市防火服のサーマルマネキン試験結果

試料		接炎時間(秒)	熱流束(kW/m²)			火傷範囲(%)			
			平均	標準偏差	変動係数(%)	第一度	第二度	第三度	二度+三度(頭部除く)
	裸マネキ	4	80.8	15.4	19				
A	1	8	5.4	17.3	318	5	19	17	36
	2	8	5.3	17.8	335	4	23	15	38
	3	8	6.0	17.6	291	5	19	22	41
	平均		5.6	17.6	315	5	20	19	39
B	1	8	4.9	17.5	356	4	30	15	45
	2	8	4.8	16.2	341	2	20	21	41
	3	8	5.2	17.1	328	7	35	12	47
	平均		5.0	16.9	342	4	28	16	44
	裸マネキ	4	80.4	15.9	20	0	1	92	93
C	1	8	6.8	17.0	248	1	26	24	50
	2	8	7.9	18.1	229	2	23	32	55
	3	8	7.8	17.1	221	4	24	38	62
	平均		7.5	17.4	233	2	24	30	54
D	1	8	5.6	17.2	309	5	24	19	43
	2	8	5.3	16.7	312	5	25	18	43
	3	8	5.8	17.3	301	2	16	23	39
	平均		5.6	17.1	307	4	21	20	41
	裸マネキ	4	80.4	16.1	20	0	1	92	93
E	1	8	7.7	19.7	254	3	32	40	72
	2	8	8.9	20.5	230	1	12	71	83
	3	8	7.4	20.3	274	2	32	40	72
	平均		7.9	20.2	258	2	26	49	75
F	1	8	7.4	19.4	263	5	18	25	43
	2	8	7.8	18.9	243	2	22	35	57
	3	8	6.9	18.5	269	1	29	23	52
	平均		7.4	18.9	258	3	23	28	51

考察では、火傷割合とは二度と三度火傷を足した値とし、n＝3の平均値とする。
頭部を除いた全身の（二度+三度）の火傷割合を図 3.5.3.6 に示す。

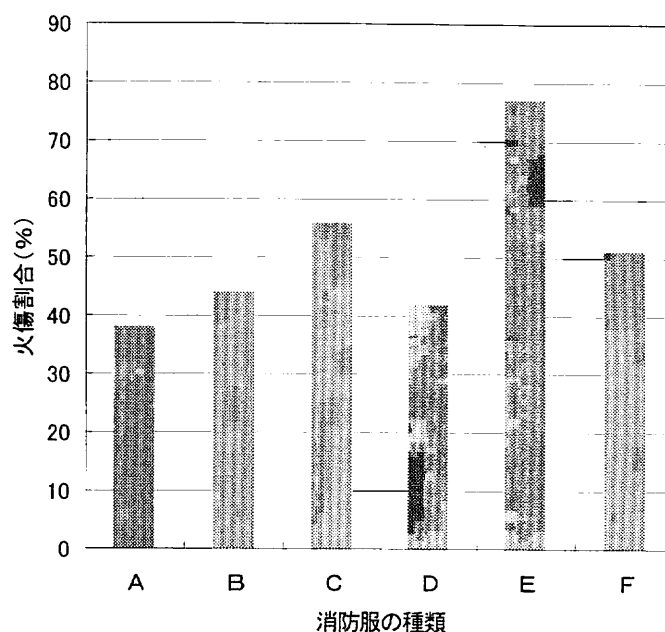



図 3.5.3.6　都市別全身火傷割合（二度＋三度）

Aが３９%で最も良好であり、Eは７５%でAの約2倍の火傷割合である。
Eのみが極端に劣るデータとなっている。この理由は表 3.5.2.1 防火服の構成に示すように透湿防水層がないためと考えられる。一枚の有無が火傷範囲に大きく影響している。着るものの構成、組み合わせが火傷範囲を減少させる上で重要な要因である事を示唆している。

全身の火傷割合からみた耐熱性はA≧D≧B＞F＞C＞＞Eの順になる。内訳を表 3.5.3.4 に示す。

表 3.5.3.4　上半身と下半身の二度+三度火傷割合（%）

試料	胴体	腕	上半身	大腿	脚	下半身	全身
A	19	9	28	4	7	11	39
B	12	7	19	13	13	26	44
C	17	6	23	16	15	31	54
D	16	10	27	5	8	14	41
E	28	13	41	19	15	34	75
F	19	6	25	13	12	26	51

上半身、下半身別に図 3.5.3.7 に示す。

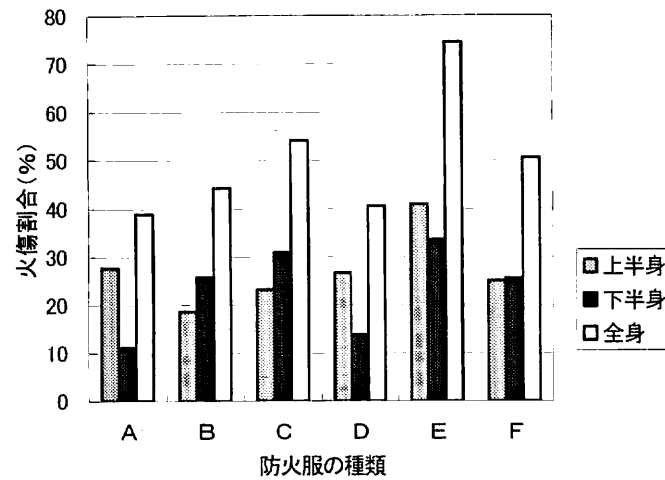



図 3.5.3.7　上半身と下半身の火傷割合

図からはAおよびD、特にAの下半身の火傷割合がかなり小さく、これが全身の火傷を小さくしていることが分かる。　火傷割合からみた上半身の耐熱性は

Ｂ＞Ｃ＞Ｆ＞Ｄ＞Ａ》Ｅ　の順であり、下半身は　Ａ＞Ｄ＞＞Ｂ＝Ｆ＞Ｃ＞Ｅ　の順となる。Aは上半身の火傷割合は5番目であり、悪いほうであるが、下半身が極めて良好であるため、全身としては一番目に押し上げている。データからはAのズボンとBの上着の組み合わせが防火服として良好となる。

更に詳しく検討するために体の部位ごと、および前後で比較する。

表 3.5.3.5 に上半身の部位・前後別火傷割合を、**表 3.5.3.6** に下半身の部位・前後別火傷割合を示す。

表 3.5.3.5　上半身の部位・前後別二度+三度火傷割合（%）

試料	胴体（前）	胴体（後）	**胴体**	右腕（前）	右腕（後	**右腕**	左腕（前）	左腕（後	**左腕**	**腕**	**上半身**
A	9	10	19	2	2	4	2	2	4	8	**28**
B	2	10	12	2	2	4	2	1	2	7	**19**
C	7	11	17	2	1	3	2	1	3	6	**23**
D	8	8	16	3	3	6	1	3	4	10	**27**
E	12	16	28	4	3	7	3	3	7	13	**41**
F	8	11	19	2	2	4	1	1	3	6	**25**

表 3.5.3.6　下半身の部位・前後別二度+三度火傷割合（%）

試料	右大腿（前）	右大腿（後）	**右大腿**	左大腿（前）	左大腿（後）	**左大腿**	**大腿**	右脚（前）	右脚（後）	**右脚**	左脚（前）	左脚（後）	**左脚**	**脚**	**下半身**	**総計**
A	1	1	3	1	1	2	4	0	4	4	1	2	3	7	11	**39**
B	4	2	6	5	2	7	13	3	4	6	2	4	6	13	26	**44**
C	5	3	8	5	3	9	16	3	4	8	3	4	7	15	31	**54**
D	2	2	3	1	1	2	5	1	4	5	0	3	3	8	14	**41**
E	4	4	9	5	6	10	19	3	4	8	3	4	7	15	34	**75**
F	5	1	6	6	1	7	13	2	4	6	2	4	6	12	26	**51**

まず、上半身を検討する。

比較を分かりやすくするために棒グラフで示す。図 3. 5. 3. 8 に胴体と腕の火傷割合を示す。

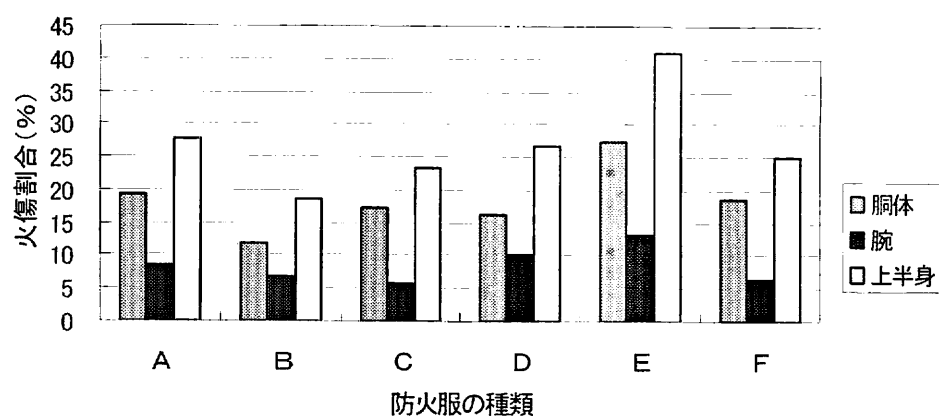



図 3.5.3.8　胴体と腕の火傷割合

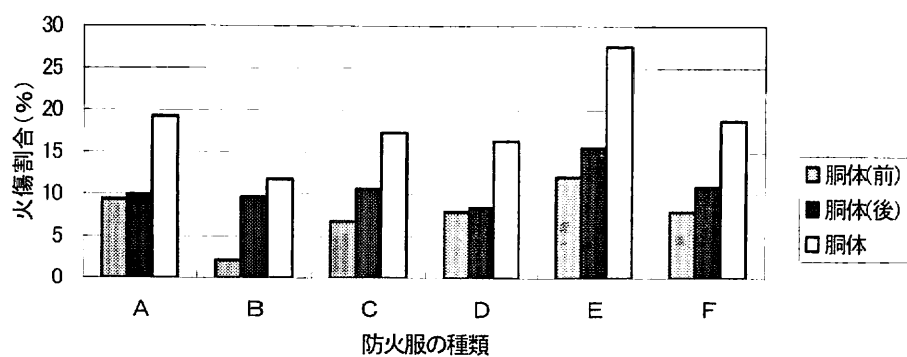



図 3.5.3.9　胴体の前後の火傷割合

腕と胴体は同じ傾向を示していない。ただし、胴体の面積が腕に比べて大きいため胴体と上半身はほぼ同じ傾向を示す。胴体はBが、腕はCがもっとも優れている。Eは胴体、腕ともに火傷割合が最も大きい。理由は前述の通り透湿防水層が無いためである。

胴体の前後別の火傷割合を図 3.5.3.9 に示す。

胴体背面は各都市ともにEを除いて大差ないが、正面はBが極めて優れており、正面の差が胴体の差となって現れている。正面の耐熱性は　B＞＞C＞D＝F＞A＞Eである。いずれも正面の火傷割合が小さくなっている。これは、チャック、重ね合わせ、ポケットなどデザイン上の要因があると考えられる。したがって、素材、生地、構成などの耐熱性は胴体背面がよく反映していると考えられ、上着はEを除いてはほぼ同等の耐熱性である。

腕の火傷割合を図 3.5.3.10 に示す。

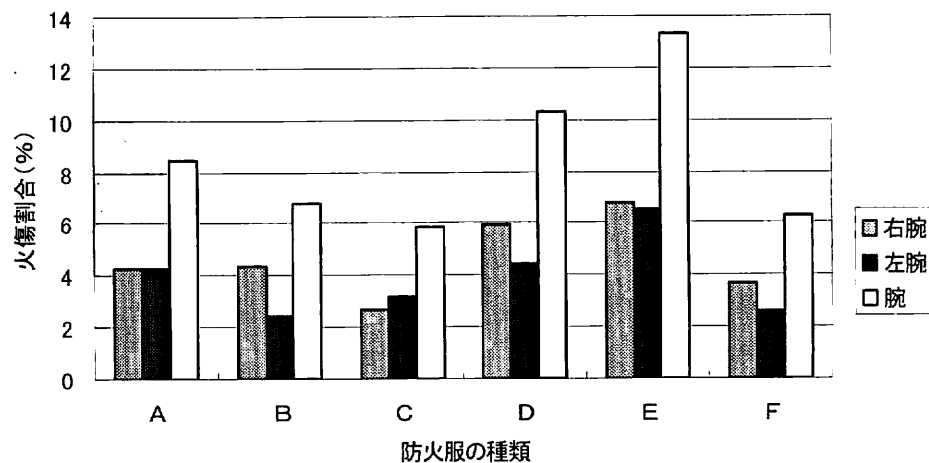



図 3.5.3.10　腕の火傷割合

腕はCとFが良好であり、DとEが劣る。腕と胴体（胴体、前、後）は傾向が一致していない。やはり、デザインなどの要因もあると考えられる。右腕の火傷範囲が左腕より若干大きい傾向にあるが、これは火炎の左右のばらつきと考えられる。

腕の前後の火傷割合を図 3.5.3.11 と図 3.5.3.12 に示す。

腕は左右、前後ともほぼ同じ傾向を示す。

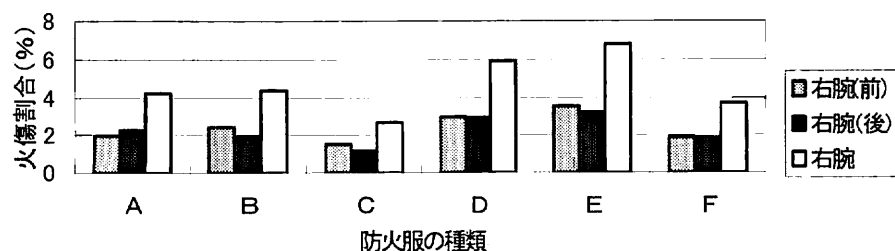



図 3.5.3.11　右腕前後の火傷割合

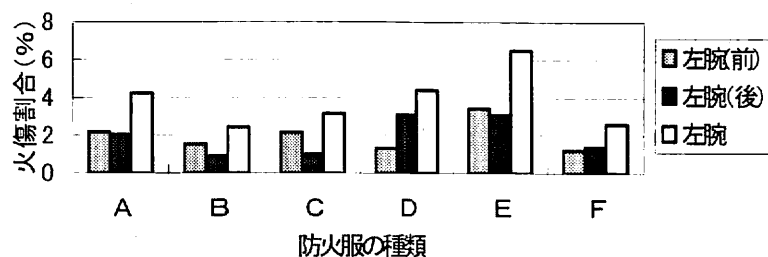



図 3.5.3.12　左腕前後の火傷割合

次に下半身を詳しく検討する。　図 3. 5. 3. 13 に大腿、脚の火傷割合を示す。

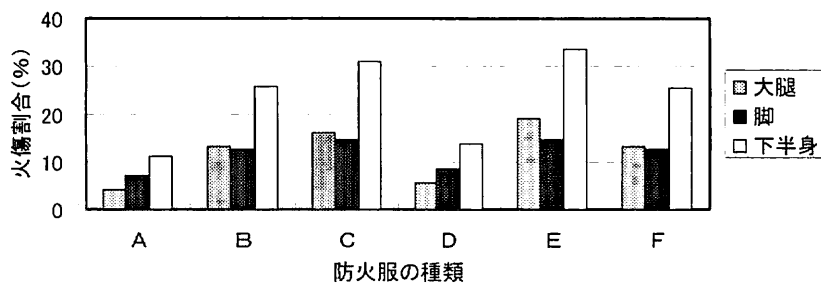



図 3.5.3.13　大腿と脚の火傷割合

AおよびD、特にAは大腿、脚ともに火傷割合が極めて少ない。AおよびDは大腿、足を含めた下半身、すなわちズボンの耐熱性が極めて優れていることが分かる。B，C、E、Fの足の火傷割合がほぼ同じであることから、これらのズボンの耐熱性は同等である。Eの全身火傷割合のみが格段に劣るのは上着のためであるが、Eの上着の耐熱性の悪さが大腿にも影響を及ぼしている。

次に大腿および足の左右、前後の火傷割合の差異を検討する。

図 3. 5. 3. 14 に左右大腿の火傷範囲を示す。　各都市に対して左、右ともに同じ傾向を示しており、順序は同じである。ただし、都市内で左右の高低の傾向は同じではない。

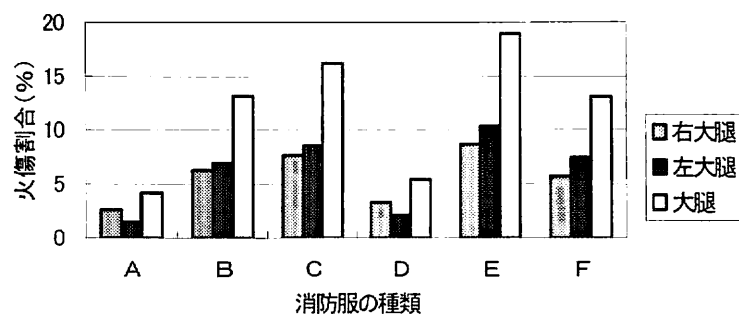



図 3.5.3.14　左右大腿と火傷割合

図 3. 5. 3. 15 に脚の左右の火傷割合を示す。脚は上着の影響を受けないため、ズボンの耐熱性を表す。脚の火傷割合からズボンの耐熱性はAとDが優れ、B、C, E、Fはほぼ同じであることを示している。左右の比較では、右脚の火傷割合が若干高い。脚部は右側のバーナー火力が若干高いと考えられる。

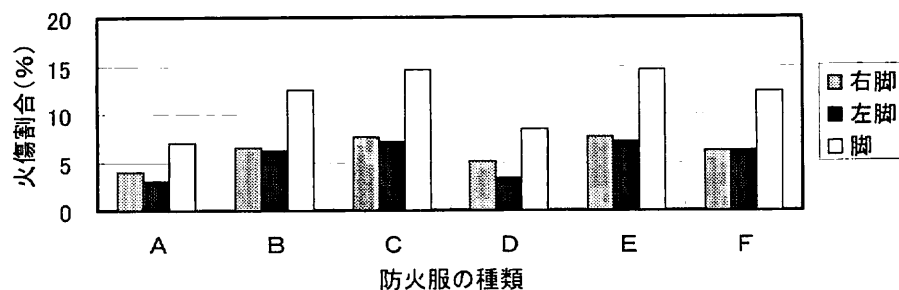



図 3.5.3.15　左右脚の火傷割合

図 3. 5. 3. 16 および 3. 5. 3. 17 に大腿部の前後の火傷割合を示す。

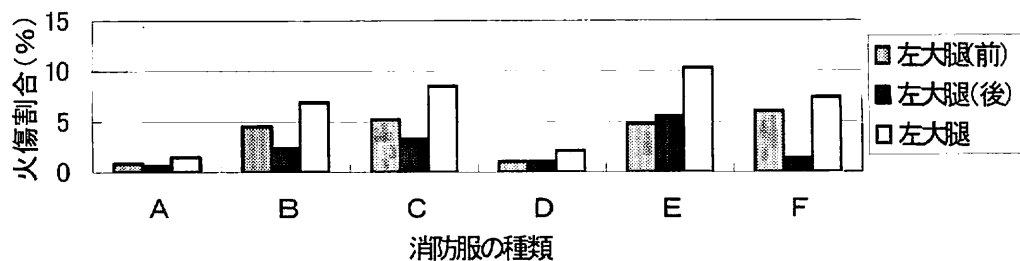



図 3.5.3.16　左大腿前後の火傷割合

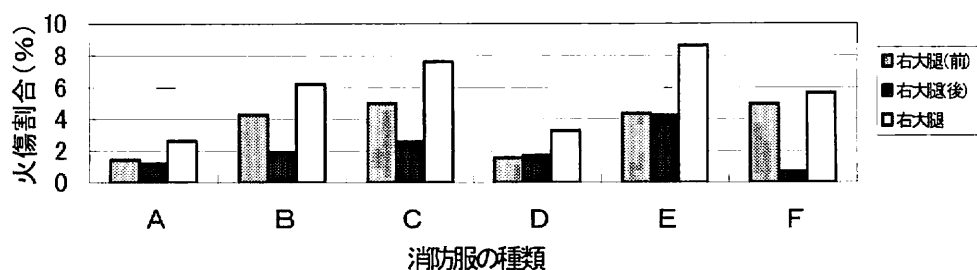



図 3.5.3.17　右大腿前後の火傷割合

左右ともに前後の傾向はほぼ同じであり、前部の火傷割合が高目である。ただし、Fは前部に対して後部の火傷割合が極端に小さい。デザイン的に異なっている可能性がある。

図 3.5.3.18 と図 3.5.3.19 に脚部の前後の火傷割合を示す。

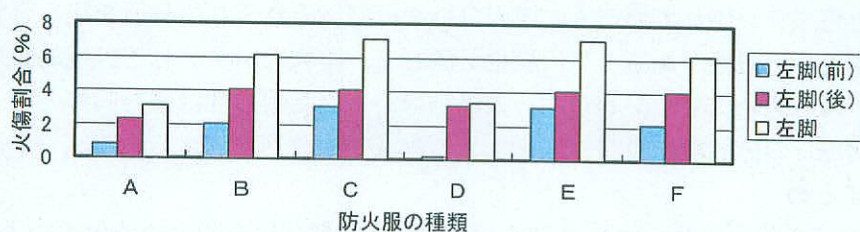



図 3.5.3.18　左脚全土の火傷割合

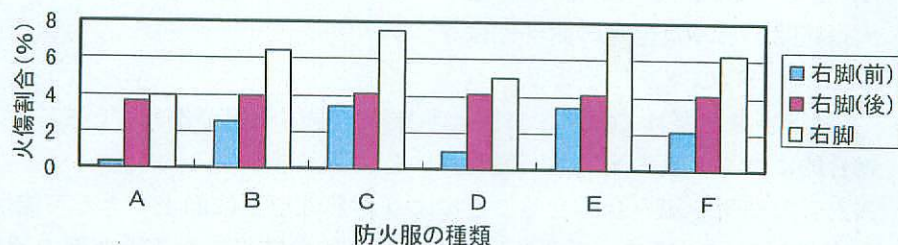



図 3.5.3.19　右脚前後の火傷割合

都市ごとの傾向は左右、前後ともに同じである。いずれの都市も前より後ろの火傷範囲が大きくなっている。大腿部とは逆の傾向であり、生地の構成の違いが考えられる。またいずれの都市も後ろはほぼ同じ火傷割合であるのに対して、前は差があり、特に都市ＡとＤは極めて小さい。これらの違いはデザイン、構成などが要因として考えられる。

以上のごとく各都市の火傷割合から見た耐熱性は部位により前後している。耐熱性に順位を付けて部位ごとにみた自治体の傾向を図 3.5.3.20 に示す。

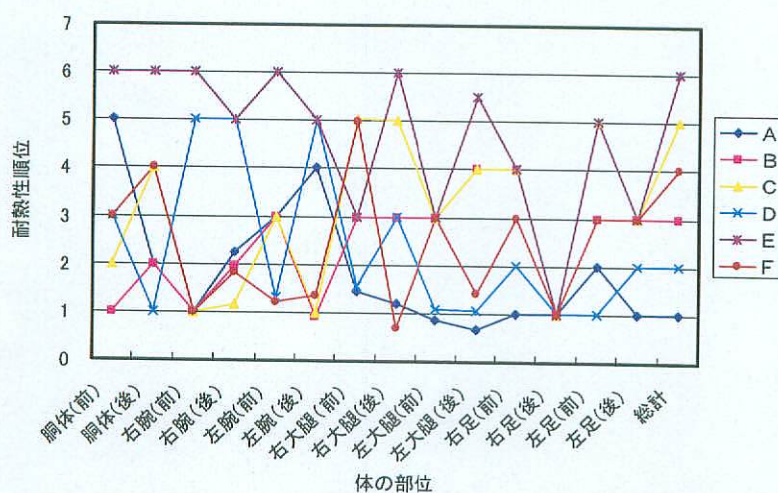



図 3.5.3.20　部位別耐熱性順位

耐熱性は、生地、構成、デザインなどの総合的な結果であることが分かる。したがって、かなり向上の余地があると考えられる。たとえば、上半身が優れているBと下半身が優れているAの要因分析を行い、それぞれの長所を組み合わせれば大幅に向上の可能性がある。Dは炭化が激しく、柔軟性が失われて目視的、外観上の耐熱性が最も悪いにもかかわらず、火傷割合からみた耐熱性はAと同等となっている。炭化過程での分解熱の吸収、炭化による遮蔽効果などが考えられる。

3.5.4 まとめ

主要6都市の防火服サーマルマネキンを用いた耐熱評価をまとめると次のようになる。

（1） 収縮、炭化、損傷、柔軟性等の外面的、目視的な耐熱性の順序は
A〉B＞＞C≧F＞E＞＞Dとなる。

（2） 火傷範囲からみた全身の耐熱性は
A≧D≧B≧F＞C＞＞Eとなる。
Aは下半身が優れている。Bは上半身特に胴体前面が優れている。

（3） 総合的にはAとBの耐熱性が優れている。
AとBの長所を組み合わせることにより耐熱性を更に向上できる可能性がある。

（4） 耐熱性は素材、構成、デザインなどの複合的な結果である。要因の解析と組合せにより耐熱性を更に向上できる余地がある。

4　生地試験結果とサーマルマネキン試験結果間の整合性の検討

生地の耐熱性試験とサーマルマネキン試験の両方の試験を行っているのは主要都市防火服についてであるので、これらのデータを用いて両者の整合性の検討を行った。試験結果のデータを表 4.1 に示す。なお、サーマルマネキン試験における第２度+第３度火傷割合のデータは、84±4kW/m²、８秒暴露で試験した際に測定したデータである。

表 4.1　生地試験結果とサーマルマネキン試験の火傷割合（第２度＋第３度）の関係

試料	火傷割合(2+3 度),頭部除く		ISO 6942(Cu)		ISO 9151
	上半身	全体	t_{24}(sec)	TFQ0(%)	HTI_{24}(sec)
A	28	39	25	20	17
B	19	44	23	23	15
C	23	54	33	17	17
D	27	41	21	24	14
E	41	75	25	17	17
F	25	51	32	19	16

この表から、ISO 6942、ISO 9151 で測定される t_{24}、TFQ0、HTI_{24} とサーマルマネキン試験で測定される火傷割合との関係を図 4.1～図 4.3 に示す。なお、図中の網掛けの部分は、サーマルマネキン試験の重症度の軽症基準及び ISO 11613 の防火服生地の性能要求基準の両方に満足する領域である。

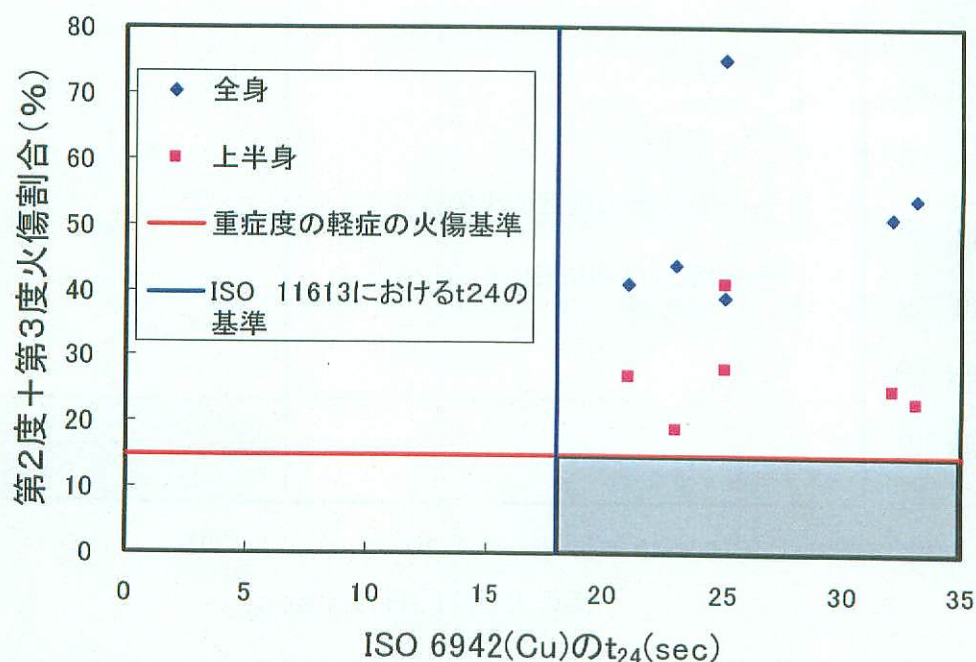



図 4.1　ISO 6942 の t_{24} とサーマルマネキン試験の第２度+第３度火傷割合の関係

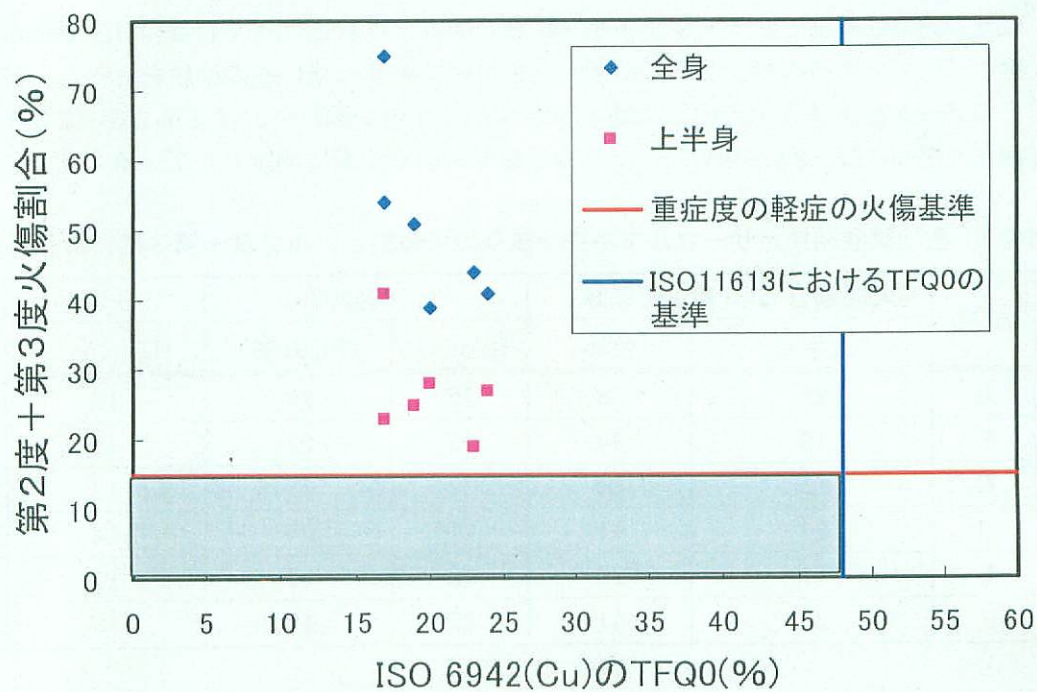



図 4.2　ISO 6942 の TFQ0 とサーマルマネキン試験の第 2 度+第 3 度火傷割合の関係

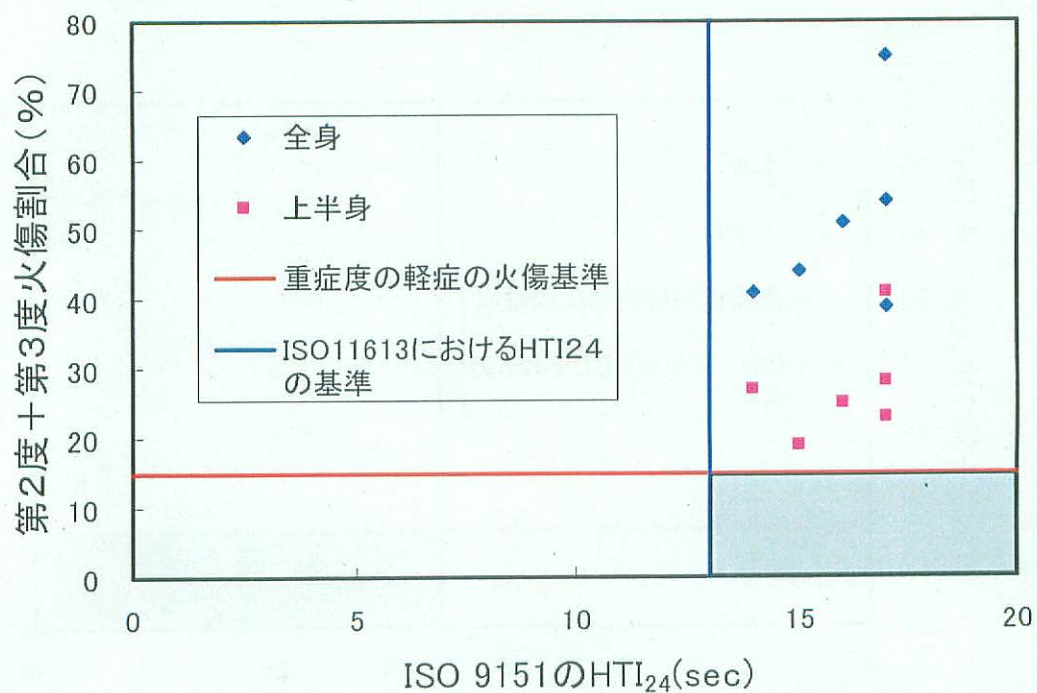



図 4.3　ISO 9151 の HTI_{24} とサーマルマネキン試験の第 2 度+第 3 度火傷割合の関係

これらの図を見ると、日本の主要都市で使用されている現用防火服生地のISO 11613の性能基準値は満足しているが、防火服とし消防隊員が着用した際に火傷を受けた際の重症度の軽症基準値は満足していない。言い換えると、重症度の軽症基準値を基に考えた場合、日本の主要都市の現用の防火服は、84±4kW/m^2、8秒暴露の火災環境において安全な防火服とは言えないことを示している。

また、サーマルマネキン試験の火傷割合と生地試験の結果との間には明確な相関がないことが分る。この理由としては、データ数が少ないこともあるが、生地試験で得られるデータは生地を密着した状態で試験して得られたデータであり、衣服のデザインなどの違い、すなわち、防火服を身体に着用させた際の密着度などによる違いは生地試験では測定できないことを意味している。したがって、消防用防火服の熱に対する総合的な安全性を調べるには生地試験では不十分であり、サーマルマネキン試験を行う必要があると考えられる。

5　まとめ

本研究では消防用防火服の耐熱性能、快適性能、機能性能に関して実験的に研究し、日本の気候風土に適した消防隊用防火服の耐熱性能、快適性能、機能性能を明らかにし、防火服のトータルな性能評価を行い、防火服の総合的な性能基準値を提案することが目的である。

本報告書は、平成14年3月から平成17年3月までの3年間、消防庁消防研究所で実施することとなっている重点研究「消防用防火服の総合的な性能評価手法に関する研究」の内の初年度の「消防用防火服の耐熱性能に関する研究」についての主な成果をまとめたものである。

主要な結果の要約のみをまとめて次に示す。

5.1　文献調査

Torviらの総説をもとにしながら、過去の消防用防火服に関連した研究について調査し、消防用防火服の研究の現状を大凡把握した。また、防火服が熱を受けた際の防火服内部の熱的性状に関する数値計算モデルのレビューを行い、それらの現状を把握した。

さらに、次年度の研究計画になっている消防用防火服の快適性、機能性に関してISO/ASTM関連規格やJICSTの文献調査を行い、次年度の研究の参考とした。

5.2　消防隊用防火服生地の一般性能、耐熱性能

日本の代表的な都市で採用している防火服生地6種類および消防団用防火服生地2種類の一般性能、耐熱性能などISO 11613:1999のアプローチA（欧州仕様）に示されている性能試験法により調べ結果の要約は次の通りである。

5.2.1　一般性能

（1）引張強さ及び低い放射熱に暴露された場合の生地の残留強度

特殊な生地（ニット生地）は、通常防火服に使用されている生地に適用されるISO 5081:1977（ストリップ法）では試料幅を一定値に保つことができないため測定できなかった。そのため、他の方法で測定する必要がある。しかし、その他の防火服生地についてはいずれも要求性能値450 Nを十分満足していた。

（2）引裂強さ　ISO 4674:1977の方法A2

特殊な生地（ニット生地）は、通常防火服に使用されている生地に適用されるISO 4674:1977の方法A2では試料幅を一定値に保つことができないため測定できなかった。そのため、他の方法で測定する必要がある。しかし、その他の防火服生地についてはいずれも要求性能値25Nを十分満足していた。

（3）表面湿潤性

外側素材生地の噴霧率はISO 4920:1981「繊維製品―織物の表面湿潤耐性（噴霧試験）の測定」にしたがって試験した際の要求性能値4以上を十分満足していた。

（4）洗濯収縮耐性

外側素材全体生地の洗濯寸法変化は、ISO 5077:1984「繊維製品―洗濯および乾燥による寸法変化の測定」にしたがって試験した際に縦方向、横方向ともに要求性能値3％以下を要求しているが、要求を満たさないものもあり、洗濯収縮性に関しては日本独自の性能基準値（6%程度）を設けるか、ISOの基準値（3％）を設定するかは検討する必要がある。

（5）液体化学薬品浸透耐性

20℃で40%の水酸化ナトリウム（NaOH）、20℃で36%の塩酸（HCL）、20℃で30%の硫酸（H_2SO_4）、White Spirit （不明なためここではベンジンを使用）を用いて、ISO 6530:1990「防火服―液体化学薬品に対する保護―液体浸透に対する素材の耐性の測定」にしたがって試験した際の流出は要求性能値80%以上であり十分満足していた。

5.2.2 耐熱性能

（1）耐炎性

ISO 15025にしたがって試験した際の耐炎性はある消防団用の防火服生地以外は、耐炎性の要求性能基準の火炎伝ぱ性（最上部、左右の端部まで火炎が達しないこと）、炎滴着火性（火炎を伴った滴下物や、溶融滴下物がないこと）、穴空きの有無（火炎が接炎した際に試料に穴が空いてはならないこと）、残炎時間（平均値が 2s 以下）、残じん時間（平均値が 2s 以下）を十分満足した。

（2）火炎暴露による防護性能

ISO 9151にしたがって試験した際の火炎暴露による防護性能は、消防団用の防火服生地以外は、要求性能基準値の $HTI_{24} \geqq 13$、$HTI_{24}-HTI_{12} \geqq 4$ を十分満足した。

（3）放射熱暴露による防護性能

ISO 6942にしたがって試験した際の放射熱暴露による防護性能は、消防団用の防火服生地以外は、要求性能基準値の $t_{24} \geqq 18$、$t_{24}-t_{12} \geqq 5$、熱透過率≧48を十分満足した。

（4）対流熱暴露による防護性能

ISO 11613：1999の付属書Aにしたがって180℃の試験温度で試験した際の対流熱暴露による防護性能は、要求性能基準の試料が溶融、滴下、分離または発火しないこと、また5%を超えて収縮しないことを十分満足した。

5.3 サーマルマネキンを用いた防火服の耐熱性能の評価

5.3.1 ラウンドロビン試験

世界でサーマルマネキンを所有する10研究所で、３種の単一層防火衣、暴露時間3～5秒、下着の有無などの同一条件でラウンドロビン試験を行った結果、消防研究所所有のサーマルマネキン試験について次のようにまとめることができる。

（1）消防研究所でのサーマルマネキンへの火災暴露環境は部位によっては、最小熱流束、最大熱流束はそれぞれ約30 kW/m²、約150 kW/m²とかなりかけ離れているが、マネキン体表面122個のセンサー全体の平均熱流束では81 kW/m²～84 kW/m²である。

（2）日本で所有する2体のマネキン同士の関係では、消防研究所所有のマネキンで試験した場合の方が、第2度+第3度火傷割合が大きくなる傾向がある。

（3）世界の他のマネキンとの比較では、3秒暴露条件の試料Ｂ、Ｃに対する火傷データをを除くと、消防研究所で測定される第2度＋第3度火傷割合は世界の他の研究所所有のサーマルマネキンで測定されたそれらの平均値より約6%加えた値に相当する。

5.3.2 Ｎ社製防火服などのサーマルマネキンによる耐熱性評価

Ｎ社より依頼を受けた作業服、防火服のサーマルマネキンを用いた耐熱評価をまとめると次のようになる。

（1）作業服を84±4 kW/m²の熱環境に3秒暴露した場合、生存率は高いが重症度は重症となり、専門施設への入院が必要となる。

（2）防火服を84±4ｋW/ｍ２の熱環境に4～8秒暴露した場合、生存率は高いが、重症度は暴露時間により4秒暴露が軽症、6秒暴露が中等症、8秒暴露が重症となり、本当の安全な暴露時間は4秒暴露までであり、それ以上の暴露は入院が必要となる。

5.3.3　Ａ市の消防局が使用の防火服などのサーマルマネキンによる耐熱性評価

Ａ市消防局より依頼を受けた現用防火服、改良防火服のサーマルマネキンを用いた耐熱評価をまとめると次のようになる。

（1）現用防火服を84±4ｋW/ｍ２の熱環境に4秒暴露した場合、特に防火長靴のひざカバーの防火性能が弱く、重症度で重症となるケースがある。

（2）改良防火服を 84±4ｋW/ｍ２の熱環境に 4～10 秒暴露した場合、現用防火服よりかなり改善され、頭部を除いて判断すると 4、6 秒暴露ならば重症度は軽症となるが、10 秒暴露の場合に重症度は中等症となるケースがある。

5.3.4　主要都市防火服などのサーマルマネキンによる耐熱性評価

主要 6 都市の防火服サーマルマネキンを用いた耐熱評価をまとめると次のようになる。

（1）収縮、炭化、損傷、柔軟性等の外面的、目視的な耐熱性の順序は、Ａ＞Ｂ＞＞Ｃ≥Ｆ＞Ｅ＞＞Ｄとなる。

（2）火傷範囲からみた全身の耐熱性は、Ａ≥Ｄ≥Ｂ≥Ｆ＞Ｃ＞＞Ｅとなる。
　Ａは下半身が優れている。Ｂは上半身特に胴体前面が優れている。

（3）総合的にはＡとＢの耐熱性が優れている。
　ＡとＢの長所を組み合わせることにより耐熱性を更に向上できる可能性がある。

（4）耐熱性は素材、構成、デザインなどの複合的な結果である。要因の解析と組合せにより耐熱性を更に向上できる余地がある。

5.4　生地試験結果とサーマルマネキン試験結果間の整合性の検討

サーマルマネキン試験の火傷割合と生地試験の結果との間には明確な相関が得られなかった。この理由としては、データ数が少ないこともあるが、生地試験で得られるデータは生地を密着した状態で試験して得られたデータであり、衣服のデザインなどの違い、すなわち、防火服を身体に着用させた際の密着度などによる違いは生地試験では測定できない。したがって、消防用防火服の熱に対する総合的な安全性を調べるには生地試験では不十分であり、サーマルマネキン試験を行う必要がある。

6　おわりに

消防用防火服の耐熱性能の評価に関しては、今回の報告書で一応まとめることができた。２年度目は、消防用防火服の快適性能、機能性能の評価手法の研究に関して、大学の先生、消防機関、防火服の縫製メーカ、服地の素材メーカ、試験装置メーカ、各種服地の物性試験を行なう法人などの参画を得て消防用防火服性能評価手法研究会を組織し、研究を進めているところである。

消防用防火服の耐熱性能以外にも快適性に関する着心地、熱感覚、湿度感、柔軟性、重量感など、機能性に関する着易さ、脱ぎ易さ、動き易さなどを実際の消防隊員に対して測定し、日本の気候風土に適した耐熱性能（サーマルマネキンなどにより評価）を含めた防火服のトータルな性能評価をするために必要な基礎資料を得ると共に防火服の総合的な性能基準値を提案したいと考えている。

なお、消防用防火服の日本における性能基準について、防火服性能基準検討委員会及びその作業部会であるISO防火服研究会でISO 11613を基準にして検討を行い、この度、これら委員会の事務局である（財）日本防炎協会より平成14年12月19日時点での日本の防火服の性能基準（案）が示されました。この基準（案）を付属資料Ｂに載せましたのでご参照下さい。

資　　料

付属資料A

サーマルマネキンを用いたラウンドロビン試験結果の詳細

1．実験実施日及び場所

実験実施日　：　平成１３年５月２８日（月）　～　６月１日(金)
A.M9:00　～　P.M5:00 頃まで

実験場所　：　消防研究所　防災実験棟　サーマルマネキン室

2．実験概要

（1）試料

タイプA　：　Indura Proban FRT Cotton (防炎綿繊維で作製した防火衣)、305 g /m ^{2}

タイプB　：　93%NomexⅢA 繊維＋5%パラ･アラミド繊維＋2%帯電防止繊維、203 g /m ^{2}

タイプC　：　40%PBI（ポリベンズイミド繊維）＋60%Kevlar（パラーアラミド繊維）、153 g /m ^{2}

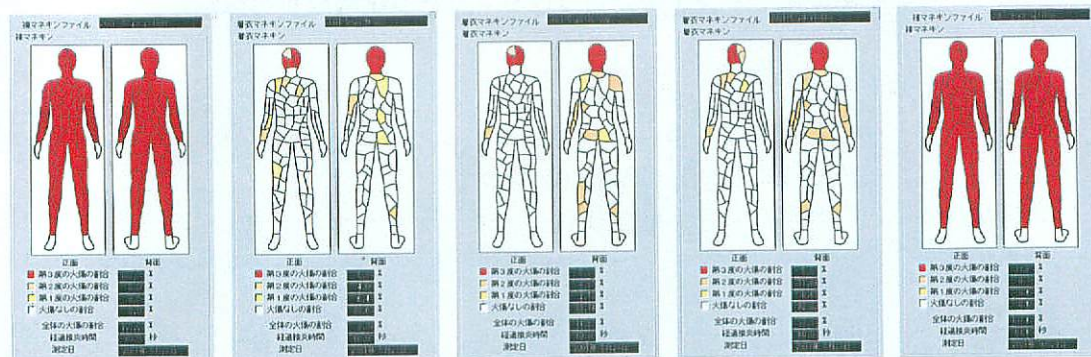
（2）試験条件

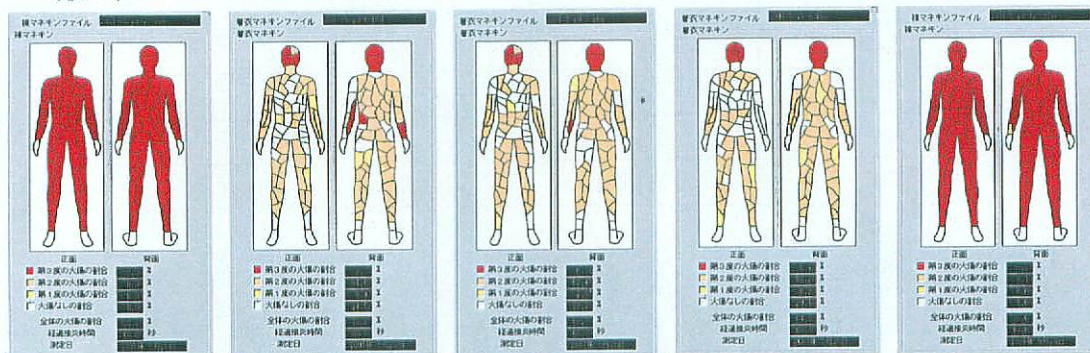
サーマルマネキンのラウンドロビンテスト条件

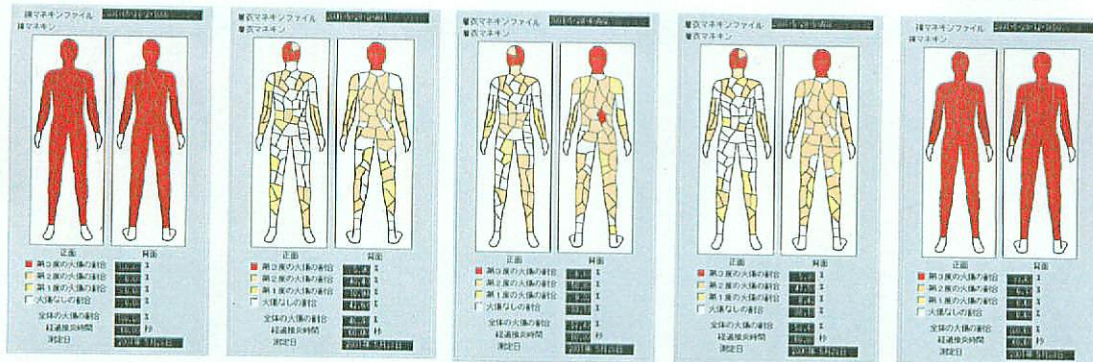
番号	曝露する熱流束 (kW/m ^{2})	曝露時間 (s)	防火服の種類	下着着用の有無
1	84	3又は4	防火服なし	無
2	84	3	A、B、C	無
3	84	4	A、B、C	有
4	84	4	A、B、C	無
5	84	5	A、B、C	有
6	84	3又は4	防火服なし	無

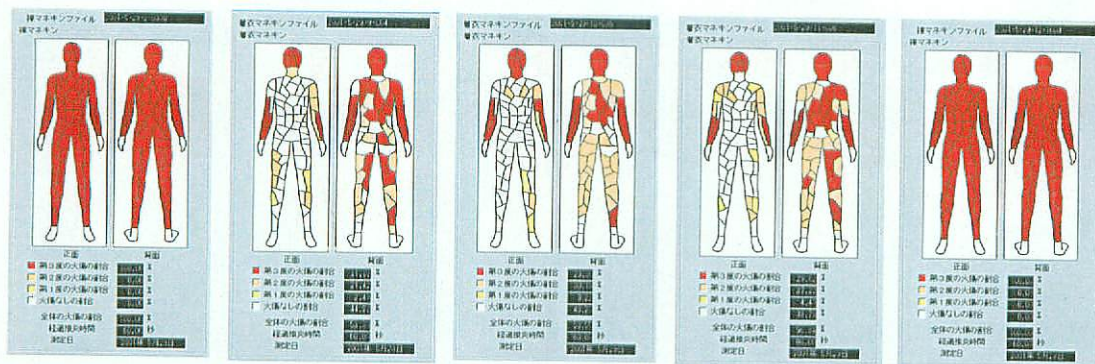
（3）結果の詳細

防火衣のサーマルマネキン試験結果の詳細（火傷程度、火傷範囲）
……………………………………………………………付図 3.2.4.1～付図 3.2.4.12

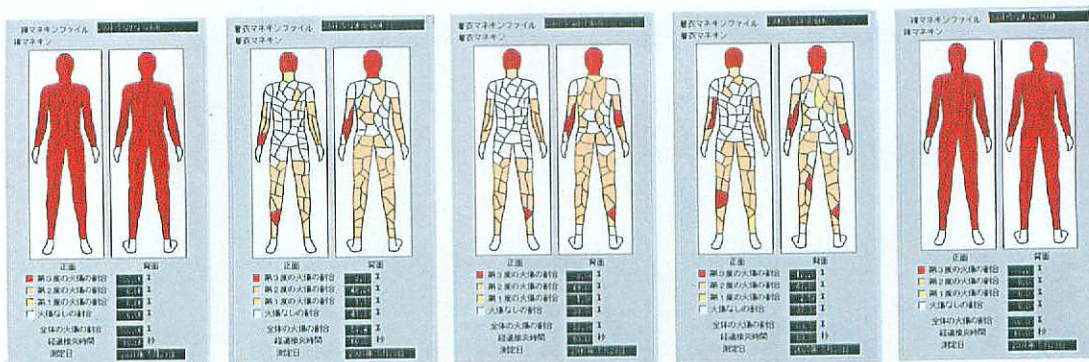
サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態 ……付図 3.2.4.13～付図 3.2.4.48

試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	82.8	14.6
A01	4	無	6.4	4.1	5.9	9.9	－	－
A02	4	無	2.2	8.8	5.9	14.7	－	－
A03	4	無	0.6	11.8	5.5	17.4	－	－
平均値			3.1	8.2	5.8	14.0	－	－
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	83.1	14.6

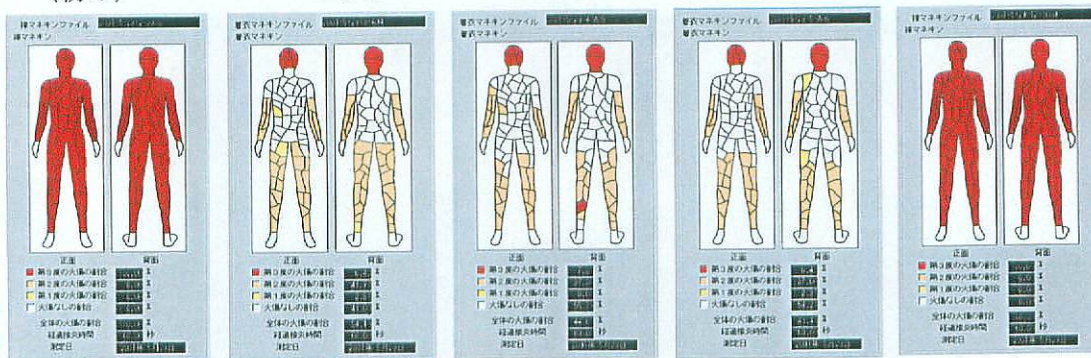
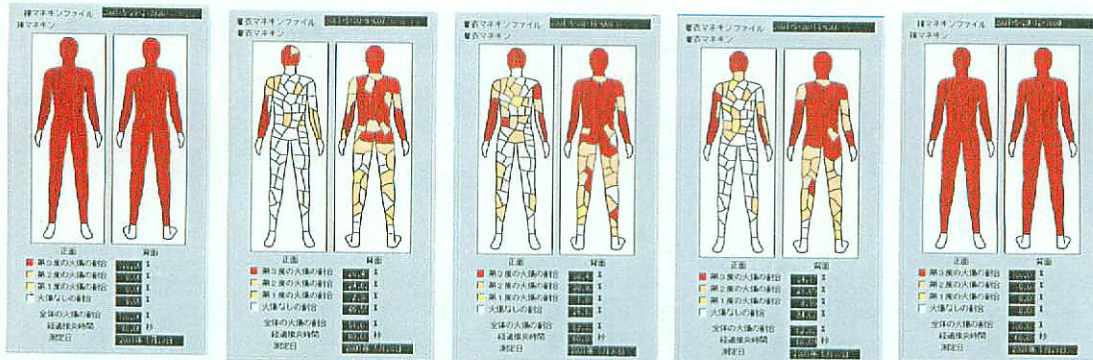
付図 3.2.4.1　防火服Ａのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：３秒、下着の有無:無）

試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	82.8	14.6
B01	3	無	5.5	61.7	8.3	70.0	－	－
B02	3	無	3.0	62.4	6.3	68.8	－	－
B03	3	無	6.2	58.3	6.4	64.7	－	－
平均値			4.9	60.8	7.0	67.8	－	－
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	83.1	14.6

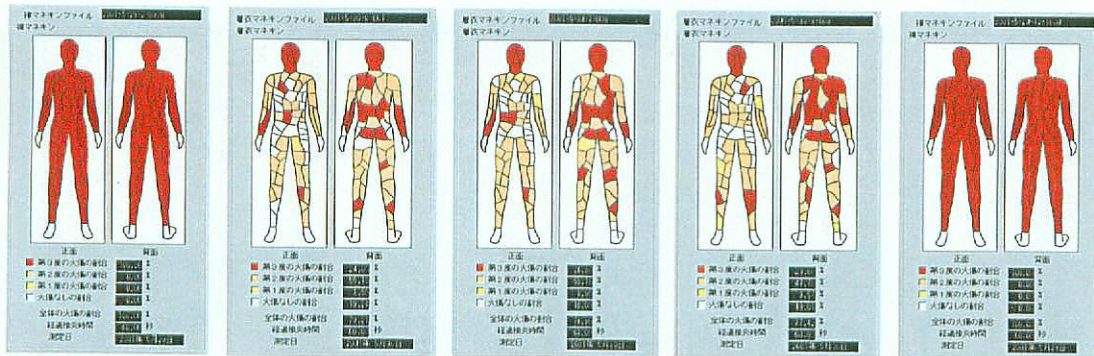
付図 3.2.4.2　防火服Ｂのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：３秒、下着の有無:無）

試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	–	0.0	0.0	100.0	100.0	82.8	14.6
C01	4	無	10.9	40.4	6.0	46.4	–	–
C02	4	無	9.3	50.8	6.7	57.5	–	–
C03	4	無	8.4	47.5	6.0	53.5	–	–
平均値			9.6	46.2	6.2	52.5	–	–
裸マネキン	4	–	0.0	0.0	100.0	100.0	83.1	14.6

付図 3.2.4.3　防火服Ｃのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：３秒、下着の有無:無）

試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	–	0.0	0.0	100.0	100.0	82.8	15.6
A04	4	無	2.5	21.4	31.9	53.3	–	–
A05	4	無	3.2	30.2	23.4	53.6	–	–
A06	4	無	4.4	27.2	29.6	56.8	–	–
平均値			3.4	26.3	28.3	54.6	–	–
裸マネキン	4	–	0.0	0.0	100.0	100.0	81.8	15.9

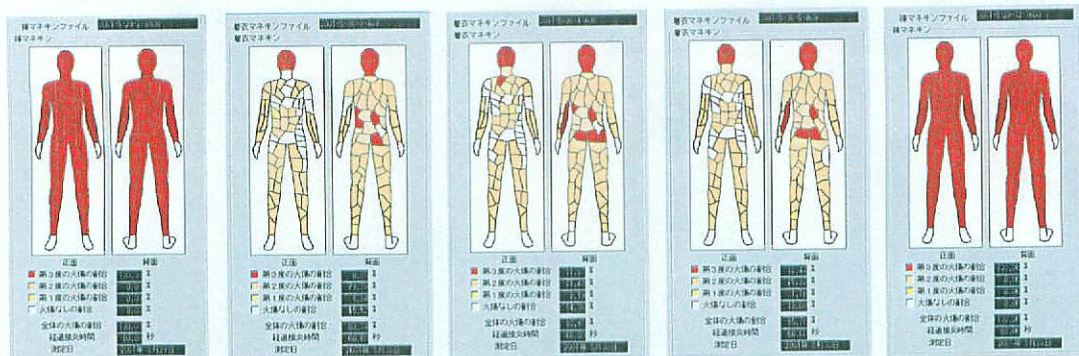
付図 3.2.4.4　防火服Ａのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：４秒、下着の有無:有）

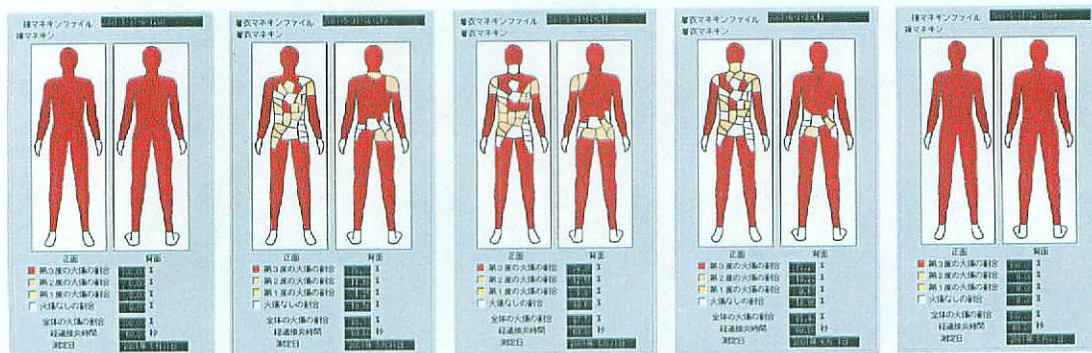
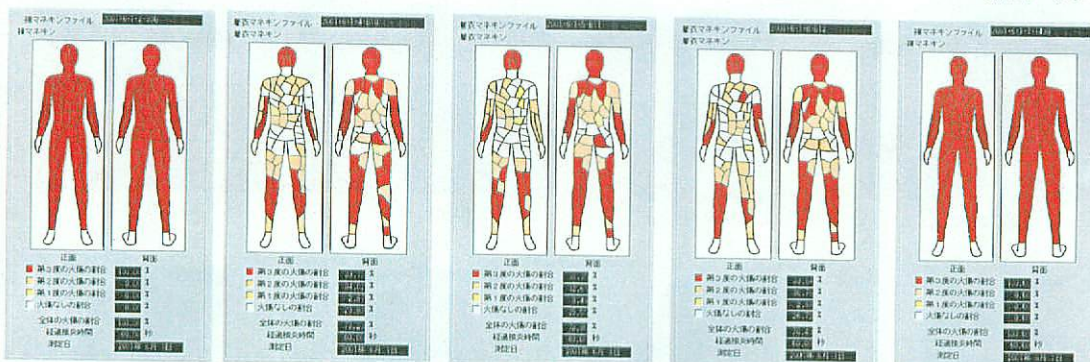
試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	82.8	15.6
B04	4	無	1.2	48.2	9.2	57.4	－	－
B05	4	無	1.4	49.0	9.9	58.9	－	－
B06	4	無	2.5	47.9	12.3	60.2	－	－
平均値			1.7	48.4	10.5	58.8	－	－
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	81.8	15.9

付図 3.2.4.5　防火服Ｂのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：4秒、下着の有無:有）

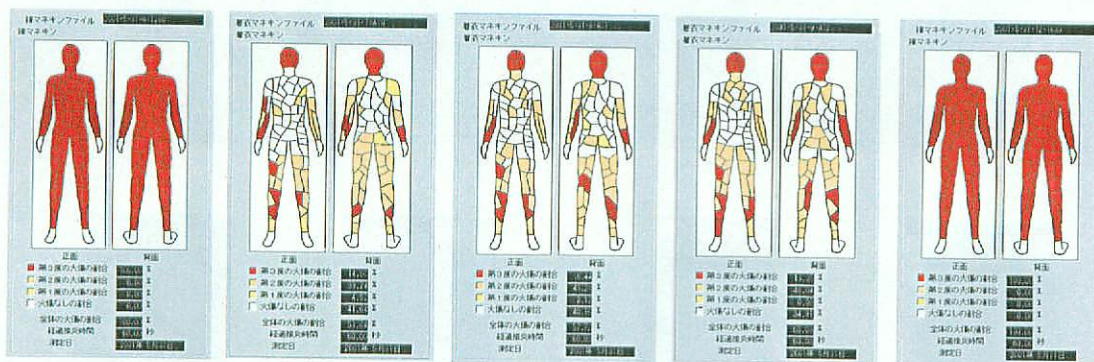
試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	82.8	15.6
C04	4	無	2.8	47.8	6.4	54.2	－	－
C05	4	無	0.0	37.3	7.3	44.6	－	－
C06	4	無	2.3	37.1	6.4	43.5	－	－
平均値			1.7	40.7	6.7	47.4	－	－
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	81.8	15.9

付図 3.2.4.6　防火服Ｃのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：4秒、下着の有無:有）

試料	暴露時間(秒)	下着の有無	第一度火傷領域(%)	第2度火傷領域(%)	第3度火傷領域(%)	第2度+第3度火傷領域(%)	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	82.3	14.5
A07	4	無	2.4	24.6	26.5	51.1	−	−
A08	4	無	1.9	30.9	38.4	69.3	−	−
A09	4	無	3.2	28.7	34.2	62.8	−	−
平均値			2.5	28.1	33.0	61.1	−	−
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	81.8	15.2

付図 3.2.4.7　防火服Ａのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：４秒、下着の有無:無）

試料	暴露時間(秒)	下着の有無	第一度火傷領域(%)	第2度火傷領域(%)	第3度火傷領域(%)	第2度+第3度火傷領域(%)	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	82.3	14.5
B07	4	無	1.6	55.2	24.1	79.2	−	−
B08	4	無	4.0	55.2	24.8	80.0	−	−
B09	4	無	3.6	47.8	29.7	77.4	−	−
平均値			3.0	52.7	26.2	78.9	−	−
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	81.8	15.2

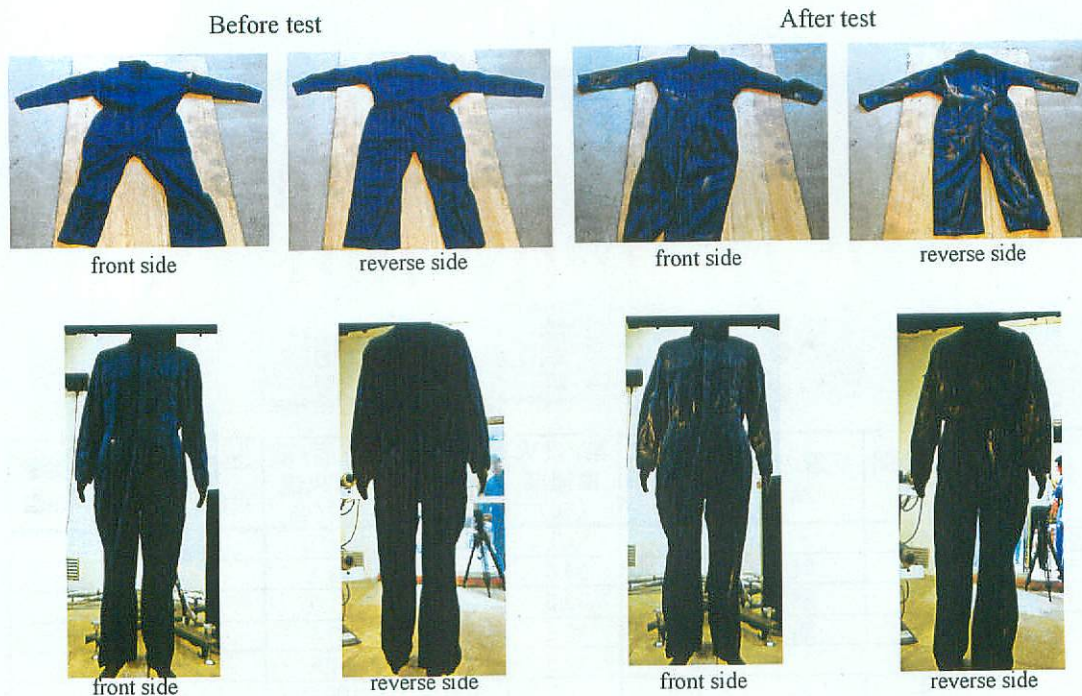
付図 3.2.4.8　防火服Ｂのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：４秒、下着の有無:無）

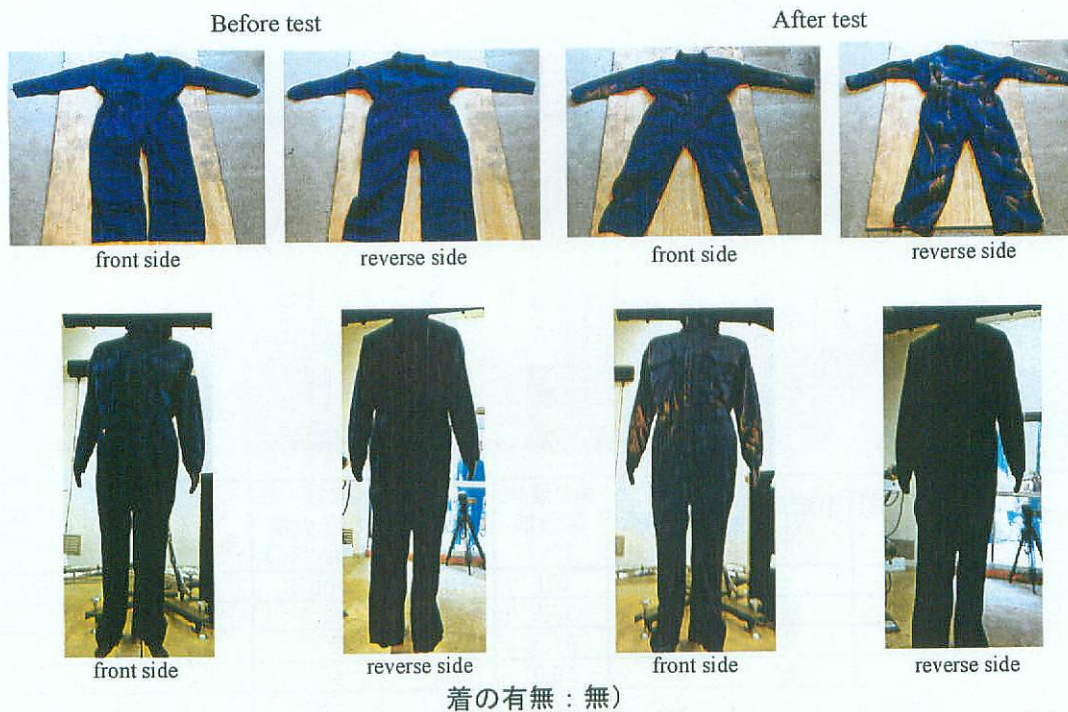
試料	暴露時間(秒)	下着の有無	第一度火傷領域(%)	第2度火傷領域(%)	第3度火傷領域(%)	第2度+第3度火傷領域(%)	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	82.3	14.5
C07	4	無	1.3	73.8	9.4	83.1	−	−
C08	4	無	2.2	71.5	12.0	83.5	−	−
C09	4	無	1.2	75.3	10.4	85.8	−	−
平均値			1.6	73.5	10.6	84.1	−	−
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	81.8	15.2

付図 3.2.4.9　防火服Cのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：4秒、下着の有無:無）

試料	暴露時間(秒)	下着の有無	第一度火傷領域(%)	第2度火傷領域(%)	第3度火傷領域(%)	第2度+第3度火傷領域(%)	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	82.3	14.5
A10	4	無	1.3	11.9	76.3	88.2	−	−
A11	4	無	1.8	12.6	75.0	87.5	−	−
A12	4	無	0.6	10.2	75.2	85.4	−	−
平均値			1.2	11.5	75.5	87.0	−	−
裸マネキン	4	−	0.0	0.0	100.0	100.0	81.8	15.2

付図 3.2.4.10　防火服Aのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：5秒、下着の有無:有）

試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	82.7	15.4
B10	4	無	2.9	34.0	39.2	73.2	－	－
B11	4	無	3.5	32.6	38.4	71.0	－	－
B12	4	無	2.9	30.8	39.6	70.4	－	－
平均値			3.1	32.5	39.1	71.5	－	－
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	83.5	15.4

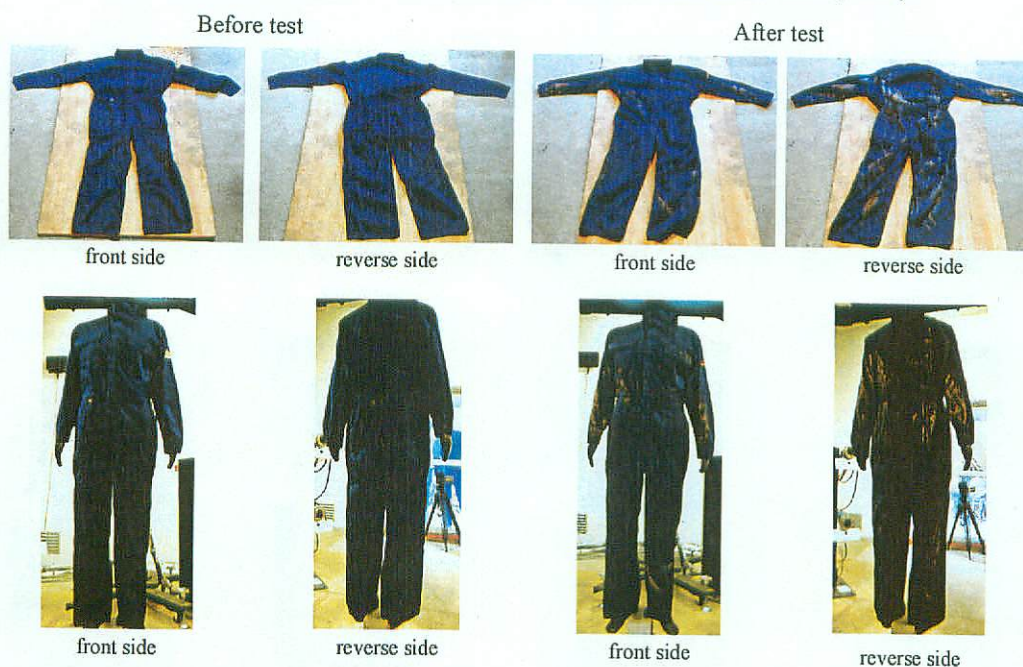
付図 3.2.4.11　防火服Bのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：5 秒、下着の有無:有）

試料	暴露時間（秒）	下着の有無	第一度火傷領域（%）	第2度火傷領域（%）	第3度火傷領域（%）	第2度+第3度火傷領域（%）	平均熱流束(kW/m^2)	標準偏差(kW/m^2)
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	81.0	14.5
C10	4	無	4.5	39.2	14.6	53.8	－	－
C11	4	無	2.1	41.3	16.4	57.7	－	－
C12	4	無	0.0	46.0	19.1	65.1	－	－
平均値			2.2	42.2	16.7	58.9	－	－
裸マネキン	4	－	0.0	0.0	100.0	100.0	81.7	15.5

付図 3.2.4.12　防火服Cのサーマルマネキン試験結果（暴露時間：5 秒、下着の有無:有）

Pictures of protective coverall before and after test (A01)

付図 3.2.4.13　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（A01、暴露時間：３秒、下

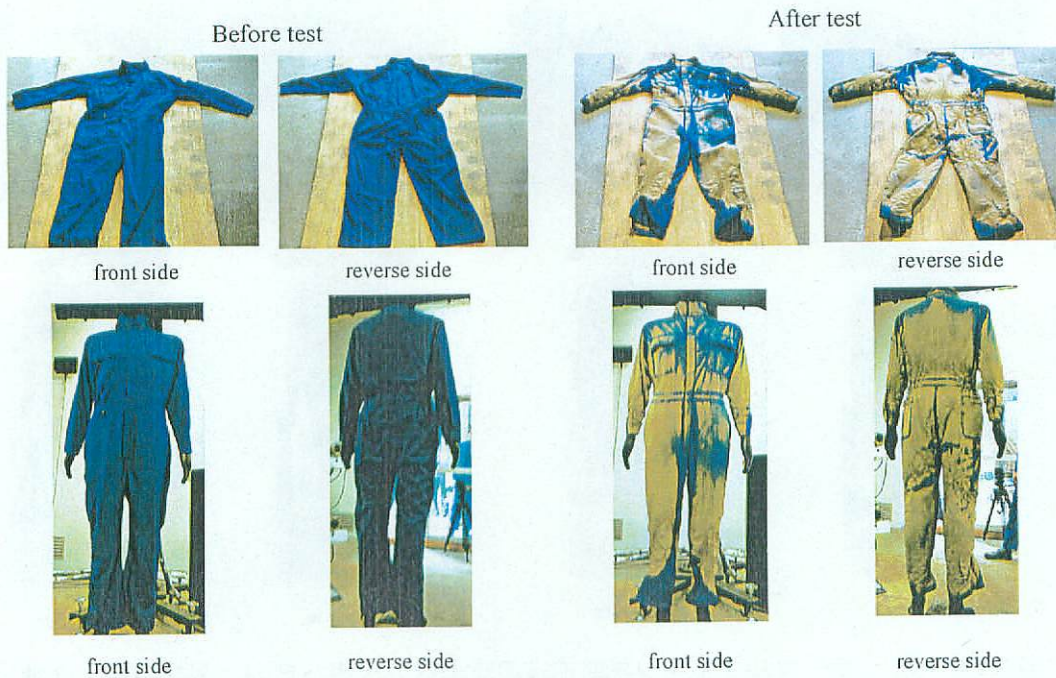
Pictures of protective coverall before and after test (A02)

着の有無：無）

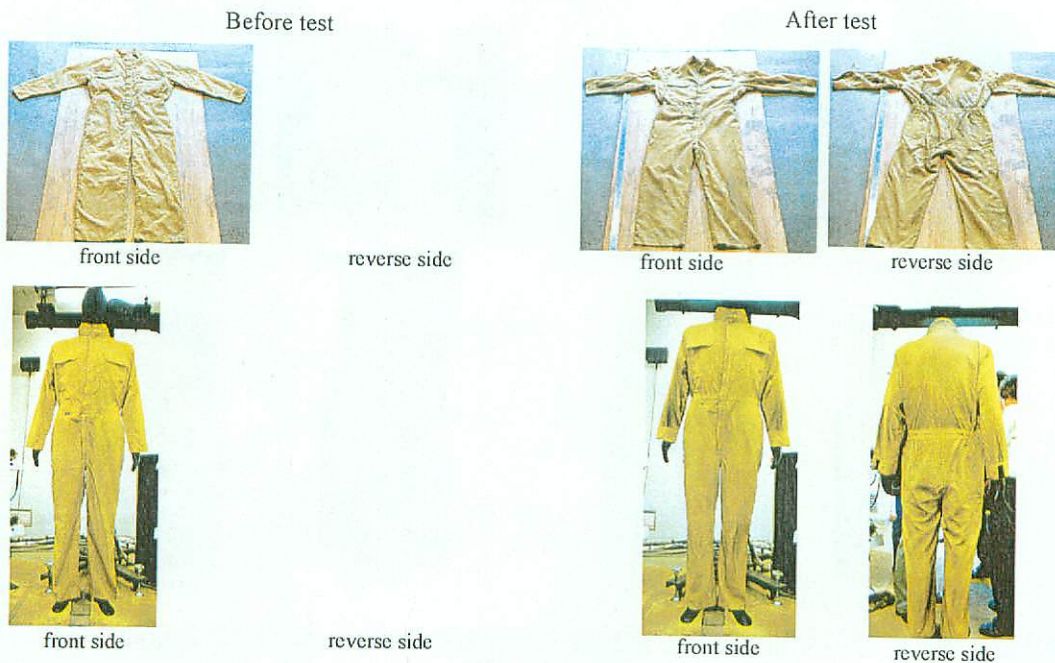
付図 3.2.4.14　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（A02、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

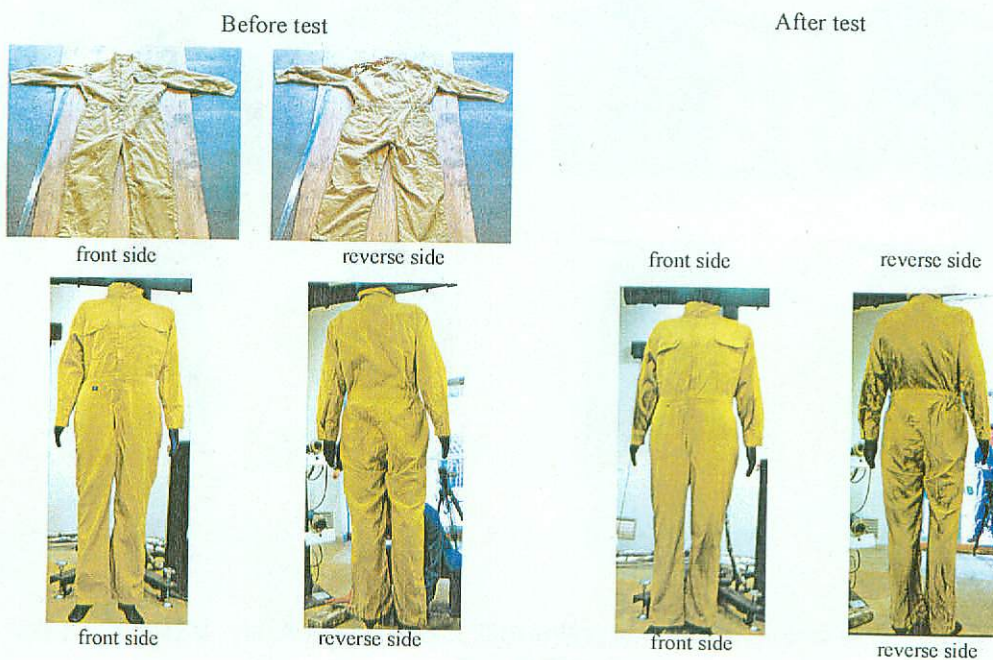
Pictures of protective coverall before and after test (A03)

付図 3.2.4.15　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（A03、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

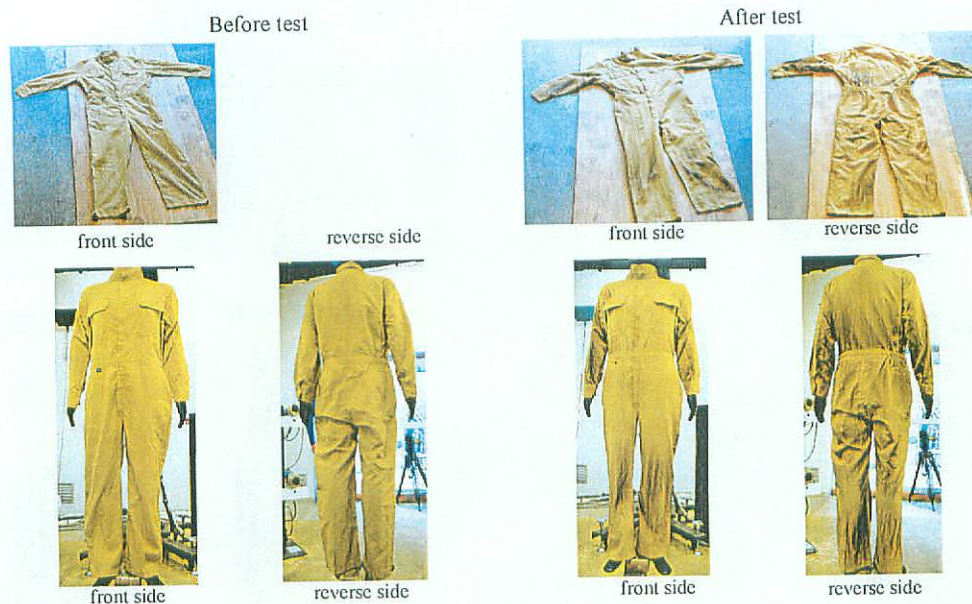
Pictures of protective coverall before and after test (B01)

付図 3.2.4.16　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（B01、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

付図 3.2.4.17　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（B02、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

付図 3.2.4.18　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（B03、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

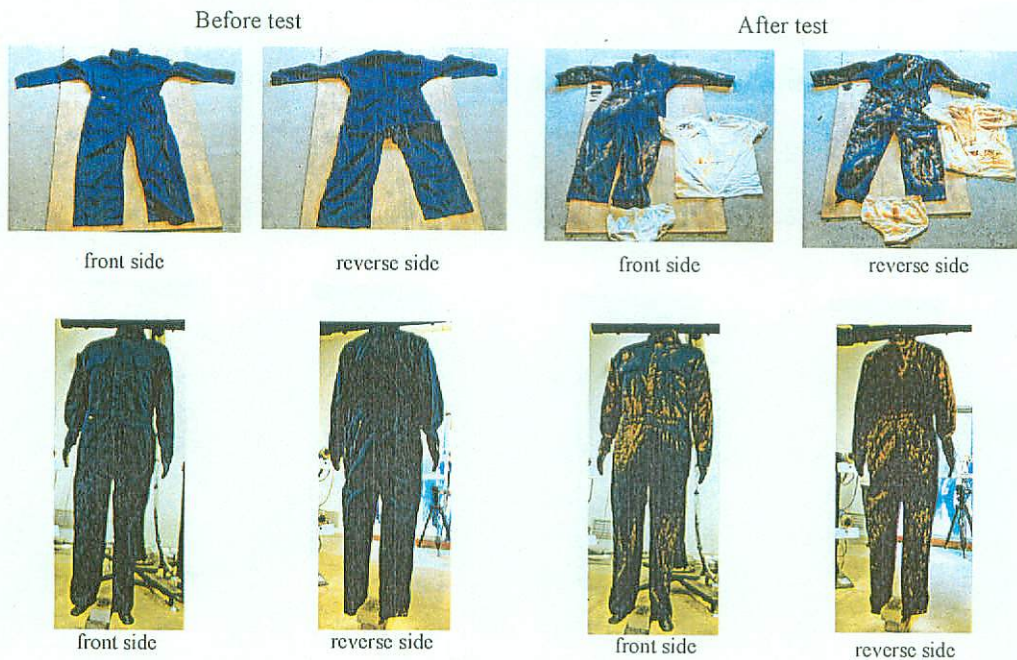
Pictures of protective coverall before and after test (C01)

付図 3.2.4.19　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C01、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

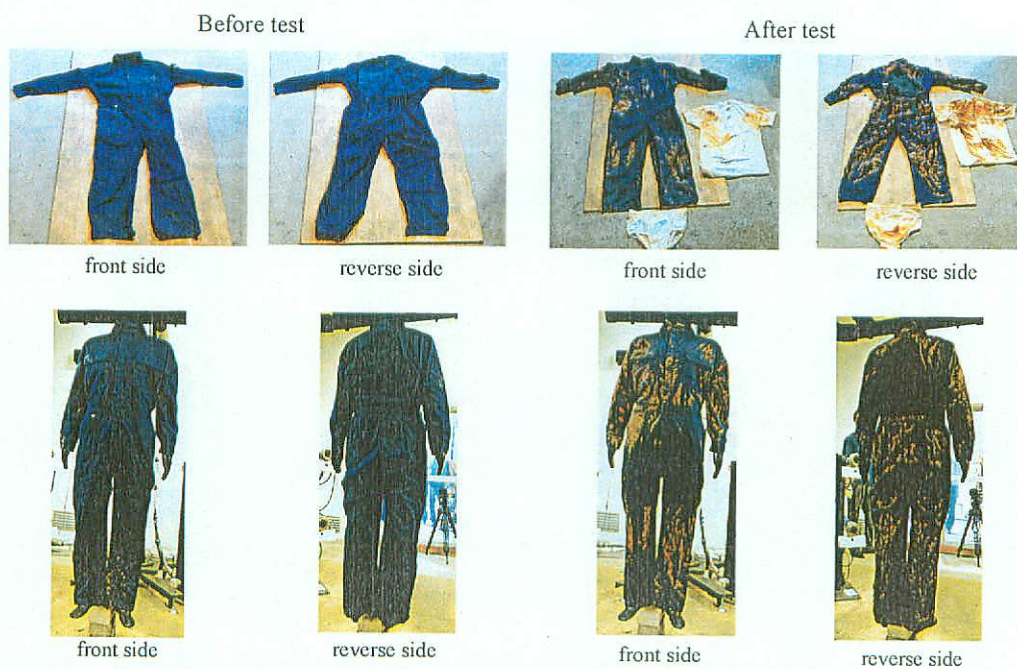
Pictures of protective coverall before and after test (C02)

付図 3.2.4.20　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C02、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

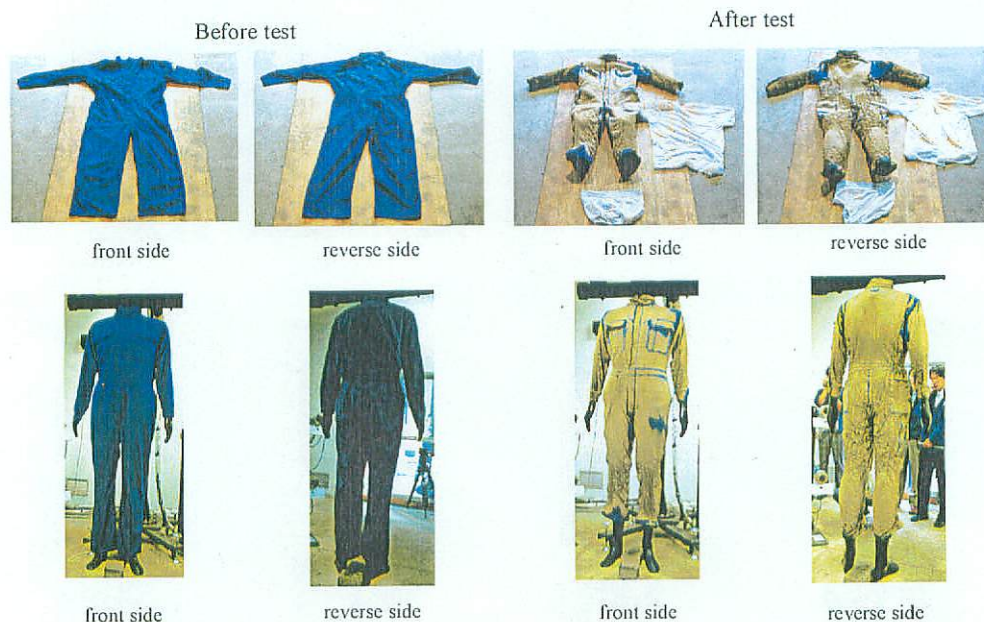
Pictures of protective coverall before and after test (C03)

付図 3.2.4.21　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C03、暴露時間：３秒、下着の有無：無）

Pictures of protective coverall before and after test (A04)

付図 3.2.4.22　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（A04、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

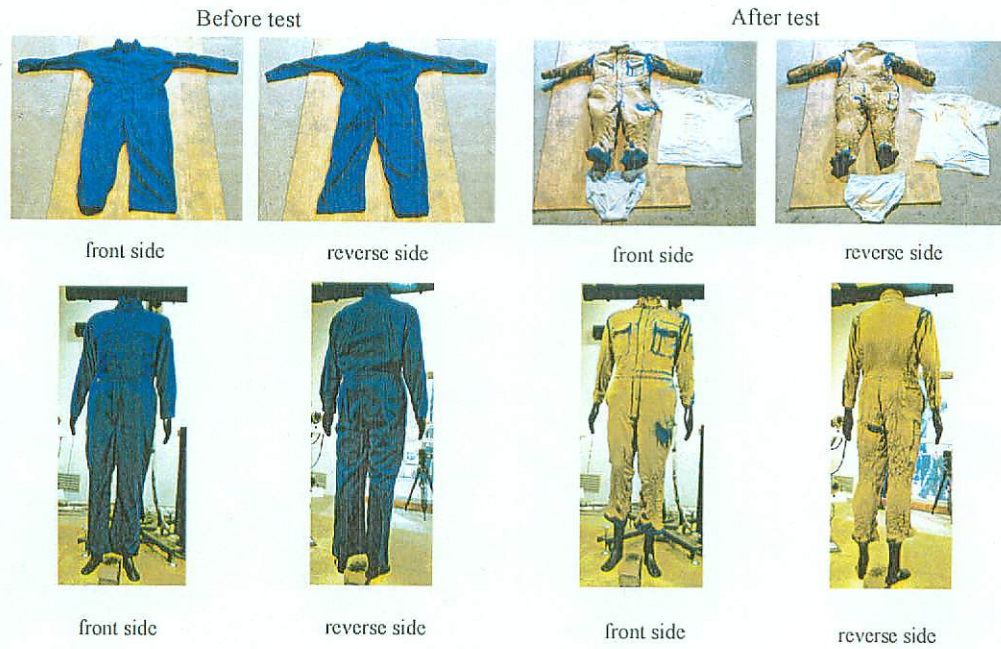
Pictures of protective coverall before and after test (A05)

付図 3.2.4.23　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ａ05、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

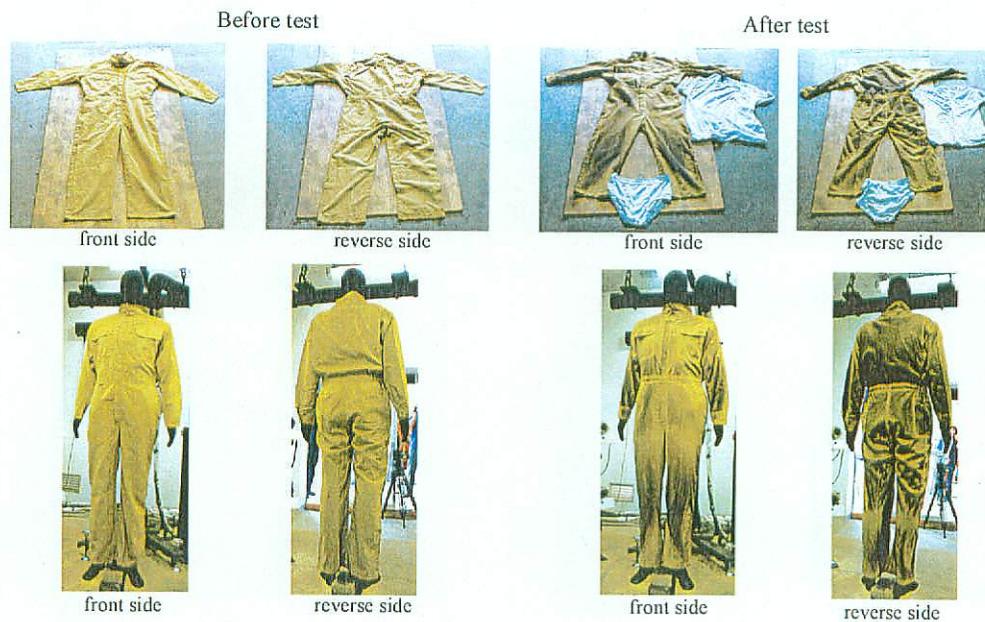
Pictures of protective coverall before and after test (A06)

付図 3.2.4.24　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ａ06、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

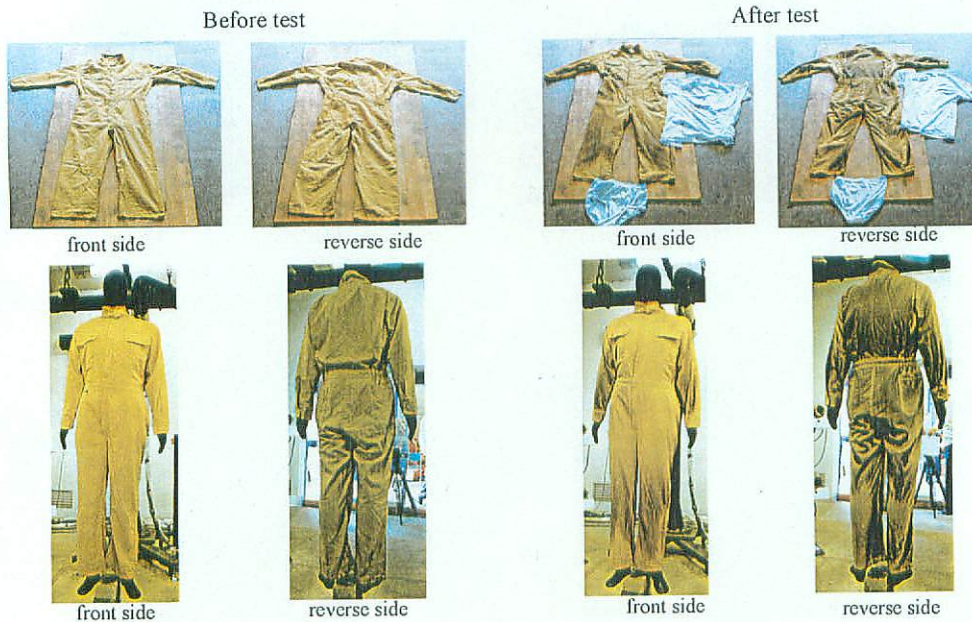
Pictures of protective coverall before and after test (B04)

付図 3.2.4.25　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（B04、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

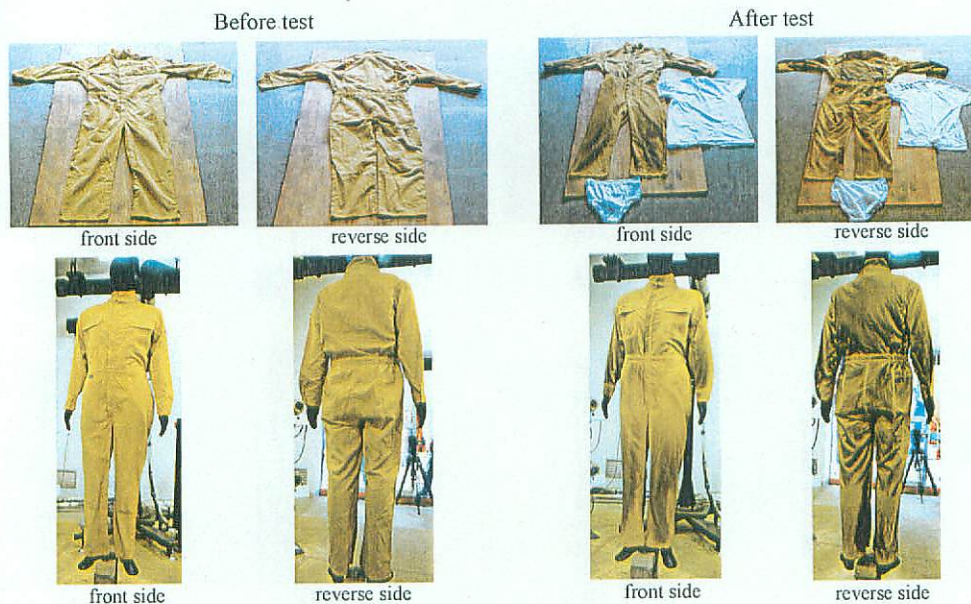
Pictures of protective coverall before and after test (B05)

付図 3.2.4.26　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（B05、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

Pictures of protective coverall before and after test (B06)

付図 3.2.4.27　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｂ06、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

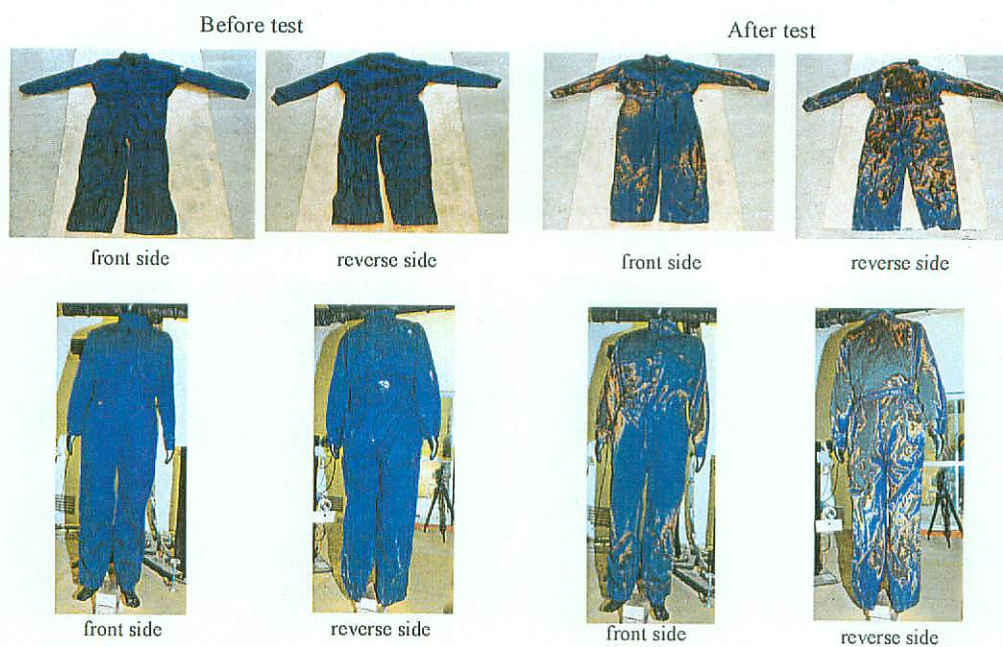
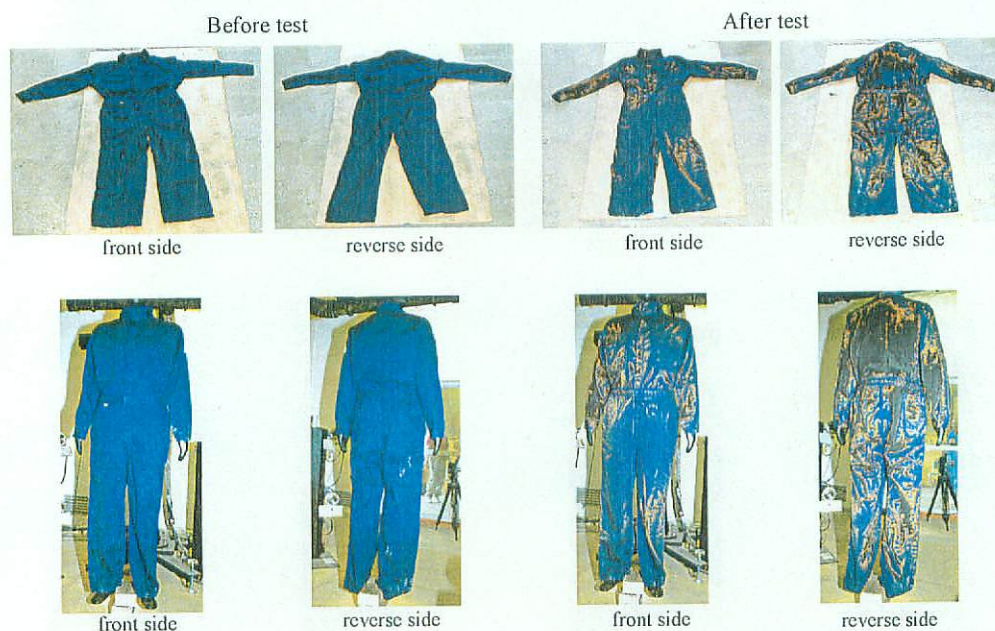
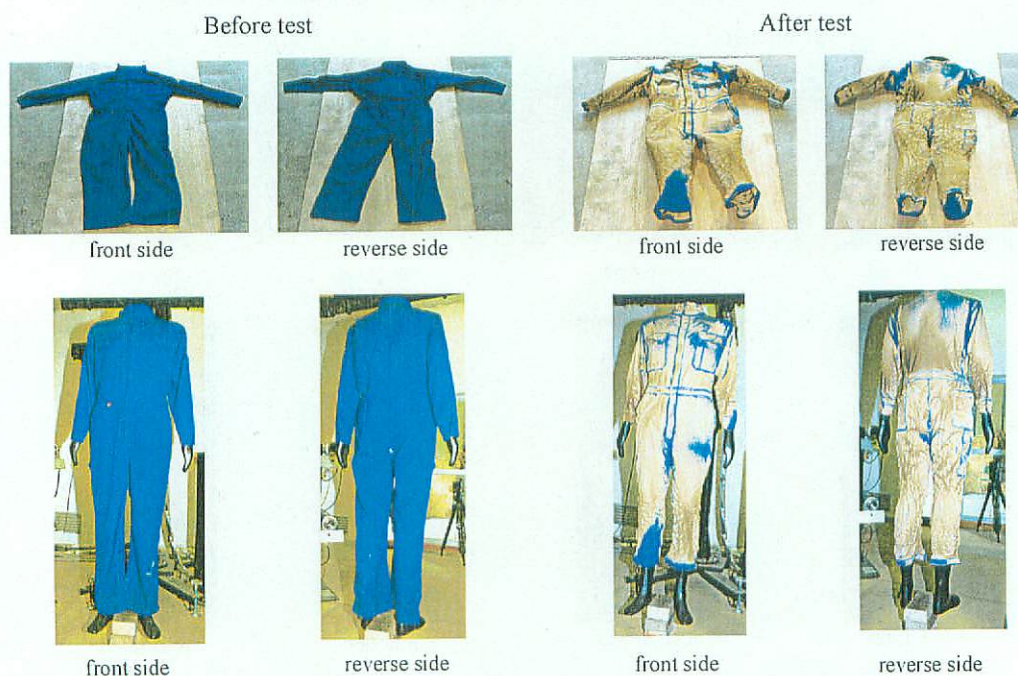
Pictures of protective coverall before and after test (C04)

付図 3.2.4.28　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｃ04、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

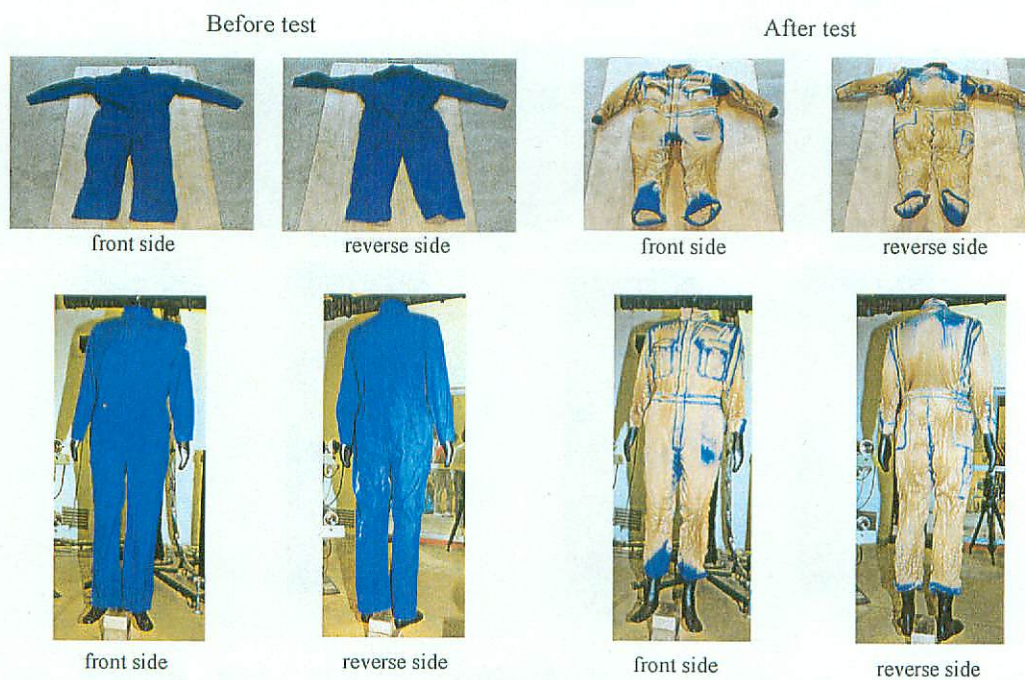
Pictures of protective coverall before and after test (C05)

付図 3.2.4.29　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C05、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

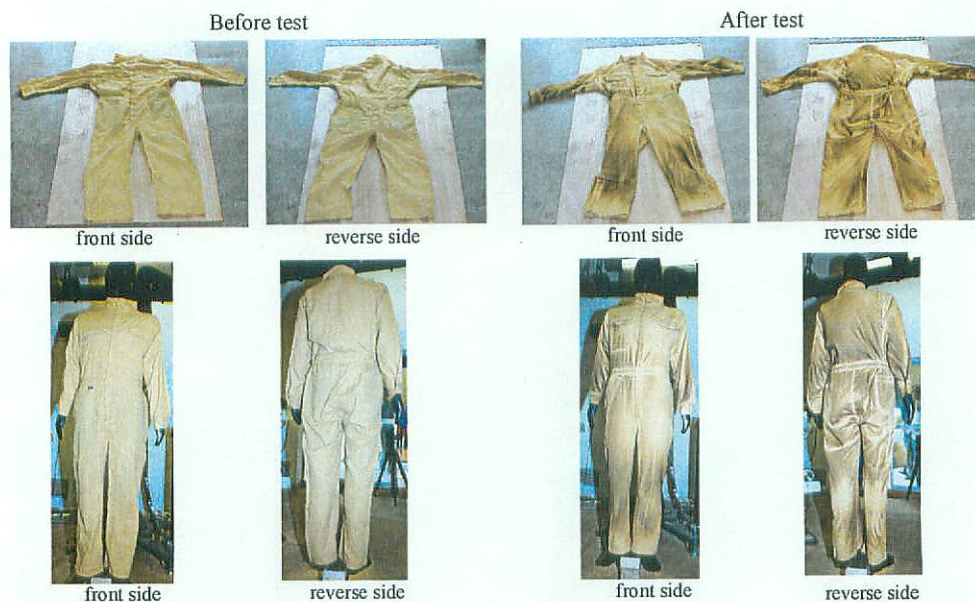
Pictures of protective coverall before and after test (C06)

付図 3.2.4.30　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C06、暴露時間：4 秒、下着の有無：有）

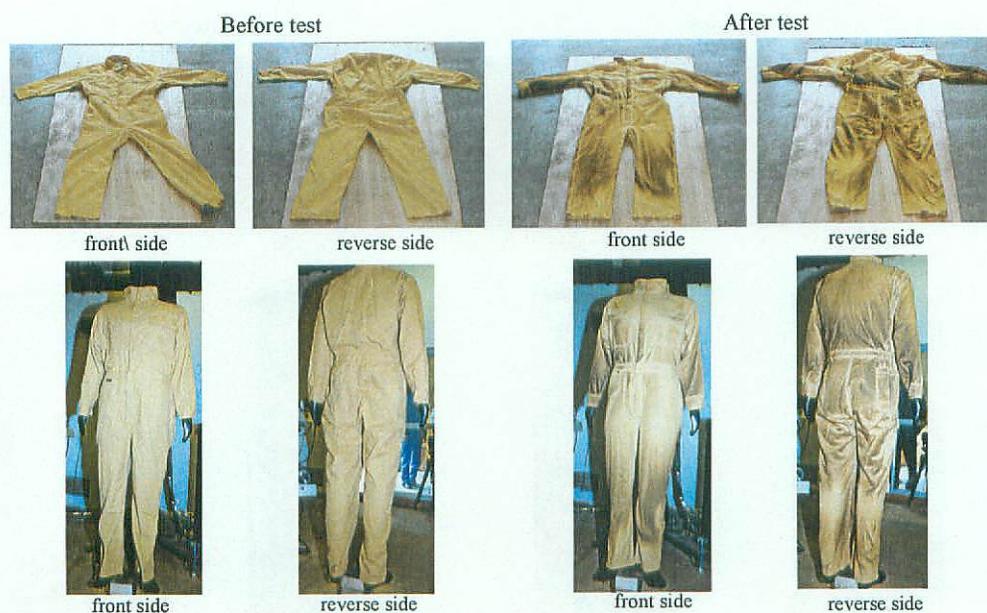
Pictures of protective coverall before and after test (A07)

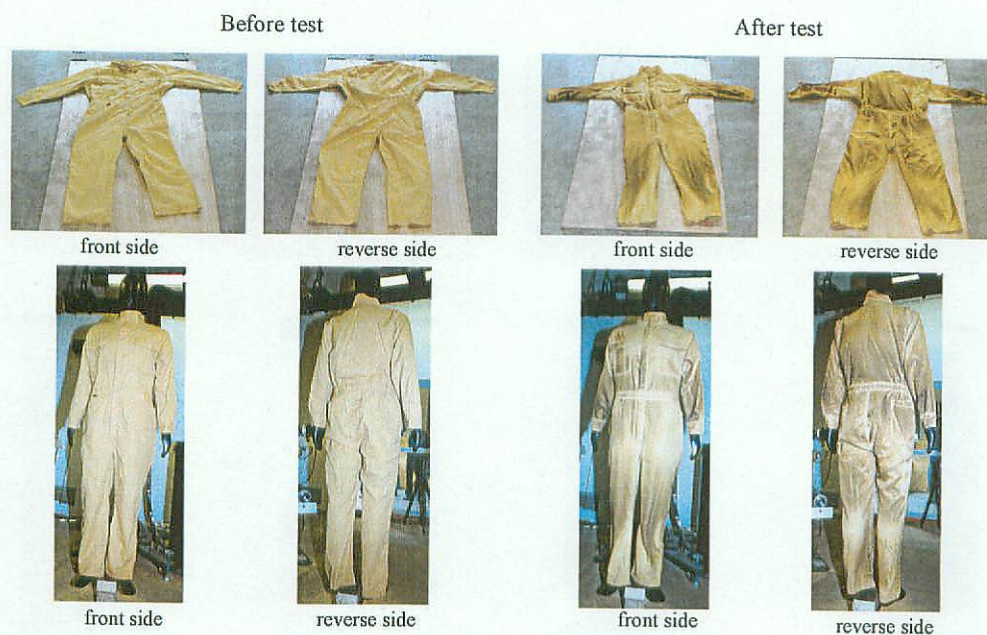
付図 3.2.4.31　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ａ07、暴露時間：4 秒、下着の有無：無）

Pictures of protective coverall before and after test (A08)

付図 3.2.4.32　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ａ08、暴露時間：4 秒、下着の有無：無）

付図 3.2.4.33　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ａ09、暴露時間：4 秒、下着の有無：無）

付図 3.2.4.34　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｂ07、暴露時間：4 秒、下着の有無：無）

付図 3.2.4.35　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｂ08、暴露時間：4 秒、下着の有無：無）

付図 3.2.4.36　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｂ09、暴露時間：4 秒、下着の有無：無）

Pictures of protective coverall before and after test (C07)

付図 3.2.4.37　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C07、暴露時間：4秒、下着の有無：無）

Pictures of protective coverall before and after test (C08)

付図 3.2.4.38　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C08、暴露時間：4秒、下着の有無：無）

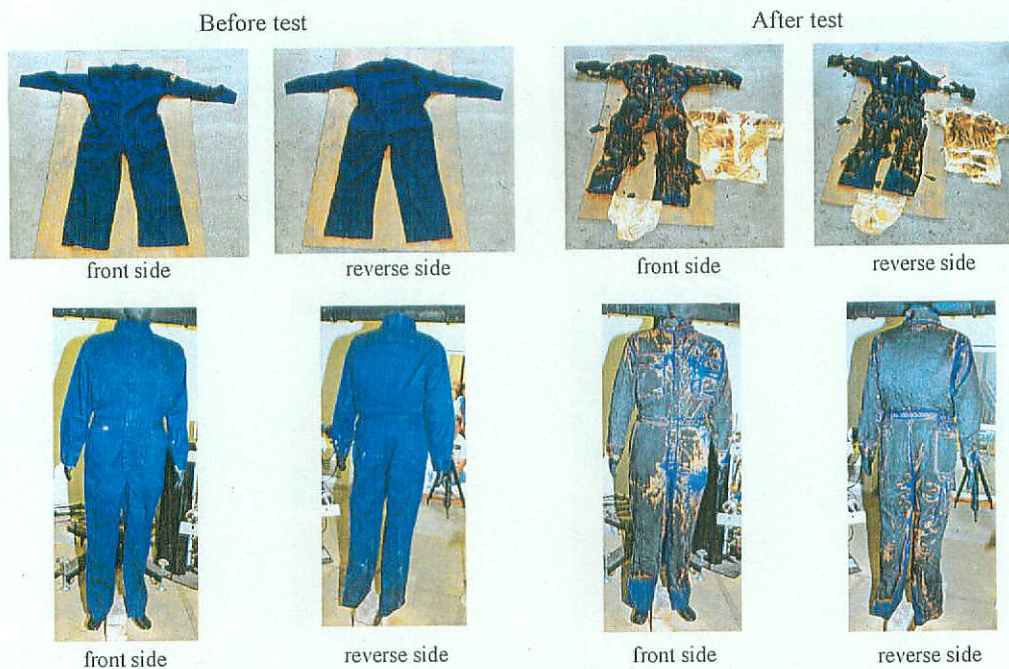
Pictures of protective coverall before and after test (C09)

付図 3.2.4.39　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C09、暴露時間：4秒、下着の有無：無）

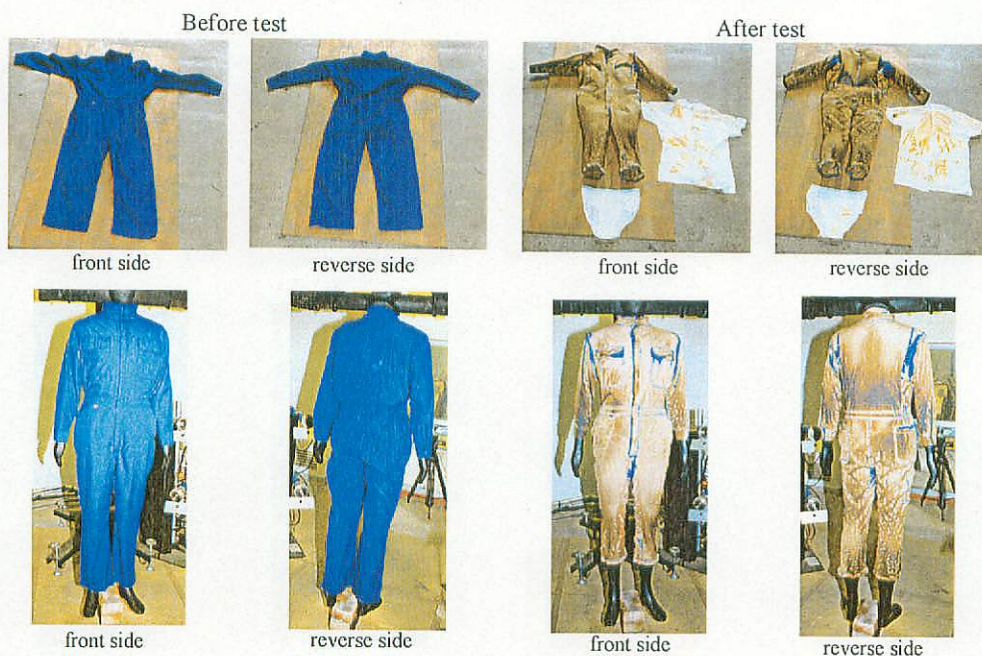
Pictures of protective coverall before and after test (A10)

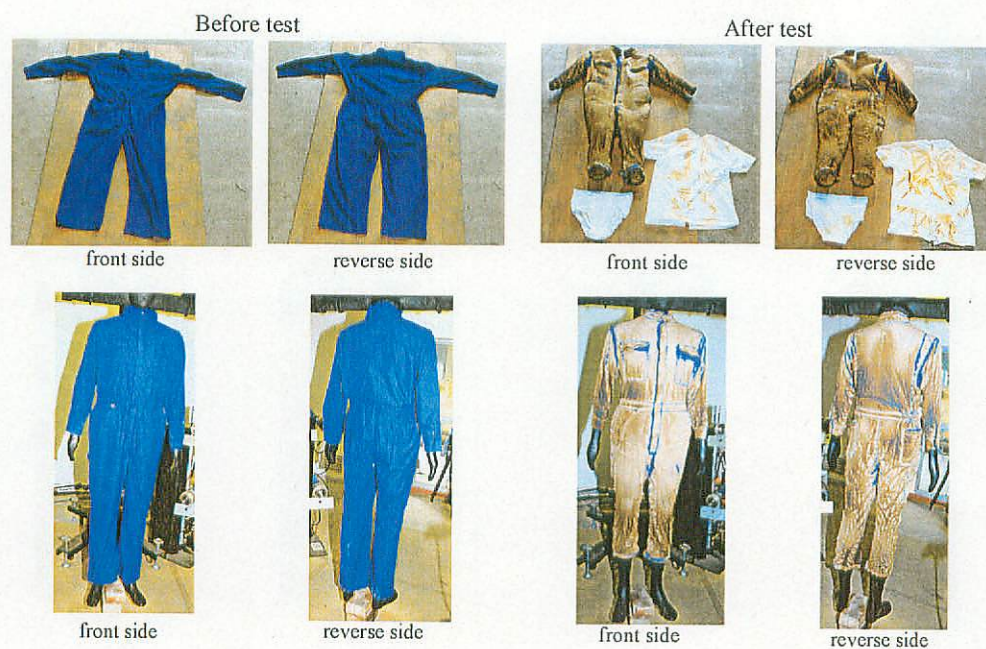
付図 3.2.4.40　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（A10、暴露時間：5秒、下着の有無：有）

Pictures of protective coverall before and after test (A11)

付図 3.2.4.41　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ａ11、暴露時間：5 秒、下着の有無：有）

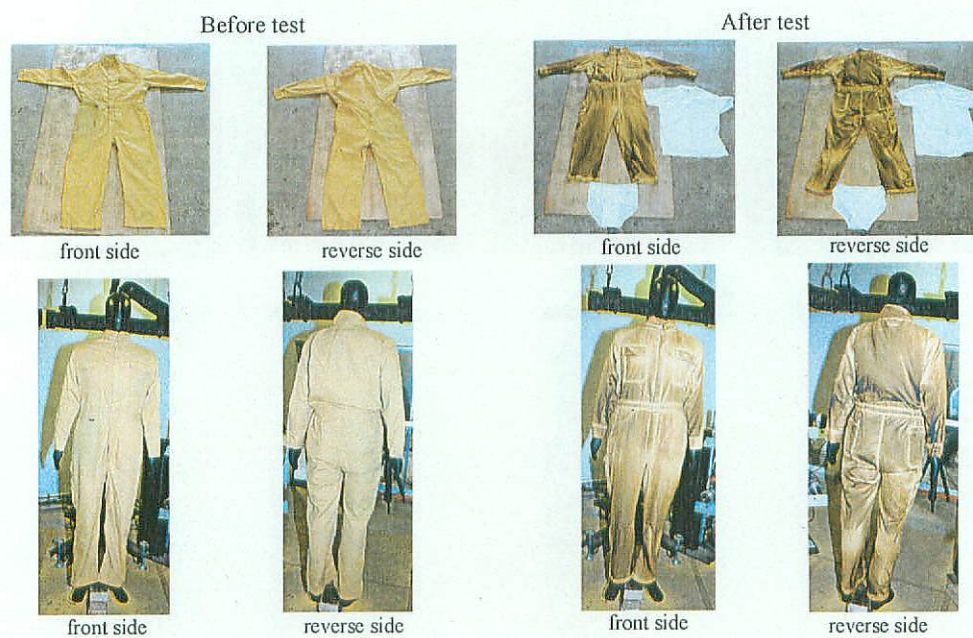
Pictures of protective coverall before and after test (A12)

付図 3.2.4.42　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ａ12、暴露時間：5 秒、下着の有無：有）

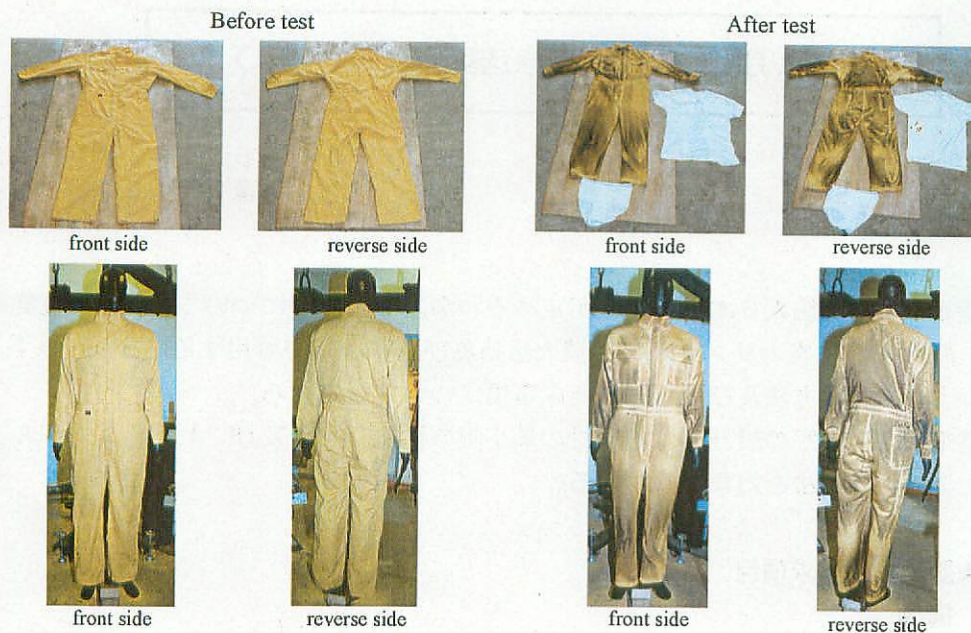
Pictures of protective coverall before and after test (B10)

付図 3.2.4.43　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｂ10、暴露時間：５秒、下着の有無：有）

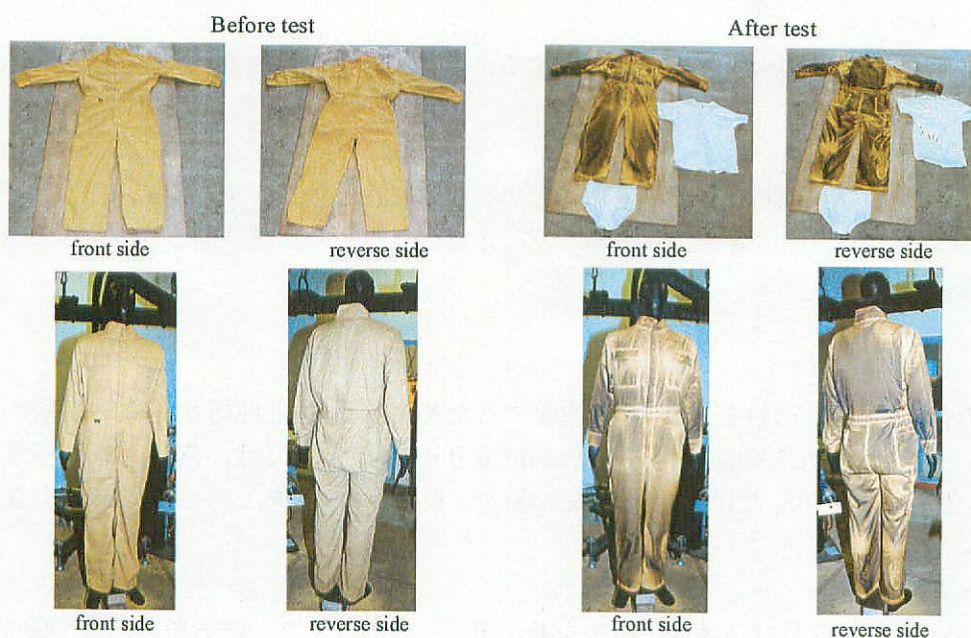
Pictures of protective coverall before and after test (B11)

付図 3.2.4.44　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｂ11、暴露時間：５秒、下着の有無：有）

Pictures of protective coverall before and after test (B12)

付図 3.2.4.45　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｂ12、暴露時間：5 秒、下着の有無：有）

Pictures of protective coverall before and after test (C10)

付図 3.2.4.46　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（Ｃ10、暴露時間：5 秒、下着の有無：有）

Pictures of protective coverall before and after test (C11)

付図 3.2.4.47　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C11、暴露時間：5秒、下着の有無：有）

Pictures of protective coverall before and after test (C12)

付図 3.2.4.48　　サーマルマネキン試験前後の防火衣の状態（C12、暴露時間：5秒、下着の有無：有）

付属資料B

防火服の性能基準（案）

平成１５年１２月１９日
防護服性能基準検討委員会
ＩＳＯ防護服研究会

この基準は，財団法人日本防炎協会が定めるわが国の防火服についての任意の性能基準であり，熱及び/又は炎のリスクがある消火活動及び関連作業で着用する防護服（以下，防火服という）の試験方法及び最小限の要求事項について規定する。

この基準は，防火服の設計，使用素材の最小限の性能レベル及びこれら性能レベルを判定するための試験方法を対象としている。

1　防火服の設計要求項目

1．1　構成

防火服は、消防隊員の胴部、頚部、腕部及び腿部を防護するものとするが，頭部，手及び足は除く。防火服は，次のもので構成する。

a）カバーオール型防火服

b）セパレート型防火服

30 cm 以上のオーバーラップ長さを有するジャケット及びズボンで構成されたものとする。

c）防火服及び防火服と一緒に着用するように設計された内衣

1．2　運動性能

防火服は，動作の制限を最小限にとどめるように設計する。また，防火服は，例えばブーツ，ヘルメット，手袋，呼吸器など，必要となる他の防護装備と両立できるものとする。

1．3　多層構成

防火服が，規定の性能レベルを達成するために複数の生地層からなる多層の構造である場合，これらの生地層を永久的に取りつけるか，又は，常にこれら多重層を組み合わせて使用しなければならない旨を，防火服に明確にラベルで表示する。

1．4　縫い目

縫い目は，強度及び防護性の損失を最小限にとどめ，また，防火服の形状や機能を損ねない構造とする。

1．5　ハードウエア

防火服に使用するハードウエアは，防火服の裏面に露出してはならない。

1．6　開閉システム

開閉システムは，防火服の性能要求事項を満たすような構造とする。

1．7　再帰性反射材

再帰性反射材が防火服の性能に影響を与えない限り，使用者の要求に応じた再帰性反射材を防火服に備えるものとする。

1．8　袖口

袖口は手首を保護し，また溶融滴下物が侵入しないような設計とする。袖口は防火服の着用を妨げず，また防火手袋の装着と両立するものとする。

1．9　防火服の重量

防火服は，要求される性能レベルを維持しながら，なお，できる限り軽量であることとする。

1．10　洗濯性能

防火服は，洗濯が容易なように設計する。洗濯をしないものについては明示する。

1．11　ラベル

ラベル又は高視認材が，衣服の性能に悪影響を及ぼしてはならない。

2．　試料採取及び前処理

2．1　試料

試験依頼者は，採用した素材及び防火服の素材構成を代表する試料を採取して提出する。

2．2　試験片の数量とサイズ

様々な試験で使用する試験片の数量及びサイズは，それぞれの引用規格に準拠する。特に規定のない限り，すべての試験は受領したままの試料について実施する。

2．3　暴露面

全ての表面試験では，防火服の表面を暴露する。　防火服の裏面が露出する場合に行う耐炎性試験（3．1．2参照）及び透湿性試験（5．1参照）は除く。

2．4　洗濯処理

防火服の構成素材については，3．1項，3．2項，3．3項の試験を実施する前に，前方装入式の水平ドラム型洗濯機に1 g/l のＩＥＣ標準洗剤（ISO 6330:1984 附属書Ｂ）の入った軟水を入れて，試験素材を5回洗濯し,ISO 6330 の手順に従って乾燥する。取扱表示ラベルに特に指示のない限り，洗濯は 60℃±3℃で手順２Ａに従って，また乾燥

は手順E（タンブル乾燥）に従って行う。乾燥は，ISO 6330 の手順に準拠する。洗濯と乾燥のサイクルを総計５サイクル実施する。

ドライクリーニングのみとラベル表示された素材については，ISO 3175-2 に準拠して，５回のドライクリーニングを行う。

２．４．２　洗濯処理の例外

洗濯を行わないとラベル表示された素材については，洗濯処理を行わずに，３．１項，３．２項，３．３項の試験を実施する。

３　構成素材の性能要求項目

３．１　耐炎性（火炎伝播性）

２．４項に規定した洗濯処理の後に，また２．４．２項に該当する場合は，洗濯処理を行わずに，ISO 15025 に従って火炎伝播性を試験して，下記の要求事項が満たされるものとする。

ａ）どの試験片も，最上部に，又は左右いずれかの端部に火炎が伝わってはならない。

ｂ）どの試験片も，多層構成の高視認材，外層，透湿防水層を除き，少なくとも一つの層には穴が生じないこと。

ｃ）どの試験片にも，火炎又は溶融滴下物が生じてはならない。

ｄ）残炎時間の平均値が２秒以下とする。

ｅ）残じん時間の平均値が２秒以下とする。

防火服外衣は，防火服の表面に火炎を当てて試験する。
防火服外衣の裏面が火炎に露出されうる場合には，防火服外衣の最内層裏地にも火炎を当てて試験する。
防火服が複数の防火服で構成されていて，内衣も火炎に露出されうる場合には，この内衣の生地表面に火炎を当てて試験する。
防火服にリストレット素材が組み込まれている場合は，リストレット素材の生地表面に火炎を当てて試験する。

３．１．２　耐炎性（火炎伝播性）試験の特例

２．４項に規定した洗濯処理を実施する前の試料が，３．１項の耐炎性試験に不適合になる可能性が，洗濯処理後よりも高いと予想される場合は，２．４項に規定した洗濯処理の前及び後に，ISO 15025 に従って火炎伝播性を試験して，３．１項と同等の要求事項が満たされるものとする。

３．２　熱伝達性（火炎暴露）

複数の素材構成や多層構成の防火服は，構成する全てを組み合わせて試験体とする。

2．4項に規定した洗濯処理の後に，また2．4．2項に該当する場合は，洗濯処理を行わずに，ISO 9151 に従って試験したとき，試験体が，平均熱伝達指数（I_Q）が 13 以上（$I_{Q,24}$≧13）で，（$I_{Q,24}-I_{Q,12}$）平均値は 4 以上［（$I_{Q,24}-I_{Q,12}$）≧4］とする。

3．3　熱伝達性（放射熱暴露）

複数の素材構成や多層構成の防火服は，構成する全てを組み合わせて試験体とする。

2．4項に規定した洗濯処理の後に，また2．4．2項に該当する場合は、洗濯処理を行わずに，ISO 6942:2002 方法Bに従って 40kW/㎡の熱流束密度で試験したとき，試験体の t_{24} 平均値は18秒以上（t_{24} ≧18 秒），（$t_{24}-t_{12}$）平均値は 4 秒以上［（$t_{24}-t_{12}$）≧4 秒］，またTF平均伝達係数は 50%以下（TF≦50%）とする。

3．4　耐熱性

防火服に使用される主たる素材は，ISO 11613:1999 の附属書Aに示す方法に従って 180℃の試験温度で 5 分間試験したとき，溶融，滴下，分離又は発火してはならず，また 5%を超えて収縮してはならない。

3．5　洗濯収縮性

防火服外衣の各生地層は2．4項で規定している洗濯処理とともに ISO 5077 に従って試験したとき，縦方向，横方向ともに寸法変化が±3%以下（≦3%）とする。

3．6　液体化学薬品浸透性

複数の素材構成や多層構成の防火服は、構成する全てを組み合わせて試験体とする。

次のものを用いて ISO 6530 に従って試験する。

a）20℃で 40%の水酸化ナトリウム（NaOH）

b）20℃で 36%の塩酸（HCl）

c）20℃で 30%の硫酸（H_2SO_4）

d）パラキシレン

流失は 80%超（>80%）とし，防火服の裏面への浸透はないものとする。

備考　試験に先だち、織物は 20℃±2℃の温度及び（65±5）%の相対湿度で 24 時間，試料調整を行う。全ての試験は，10 秒の注入時間及び 20℃の温度で実施する。

4．　表地の品質要求項目

4．1　引張強さ　並びに　放射熱暴露後の表地の残留引張強さ

防火服外衣の表地は，ISO 6942:2002 の方法Aに従って 10kW/㎡の熱流束密度の放射熱暴露を受ける前と受けた後に,経方向の試験片1点と緯方向の試験片1点を

ISO 5081 に従って試験する。試験片の引張強さは 1,200N 以上（≧1,200N）とする。

４．１．２　銀面編地の引張強さ　並びに　放射熱暴露後の表地の残留引張強さ

防火服外衣の表地が，銀面編地である場合は，ISO 6942:2002 の方法Ａに従って 10kW/m²の熱流束密度の放射熱暴露を受ける前と受けた後に，経方向の試験片１点と緯方向の試験片１点を ISO 13934-1:1999 に従って試験する。各試験片の引張強さは 450N 以上（≧450N）とする。

４．２　引裂強さ

防火服外衣の表地は，ISO 4674:1977 方法Ａ２に従って試験したとき，引裂強さが 40N 以上（≧40N）とする。

４．２．２　銀面編地の引裂強さ

防火服外衣の表地が，銀面編地である場合は、ISO 4674:1977 方法Ａ１に従って試験したとき，各試験片の引裂強さは，25N 以上（≧25N）とする。

４．３　表面湿潤性

防火服外衣の表地は，ISO 4920 に従って試験したとき，撥水度が４以上（≧4）とする。

４．４　帯電性

防火服外衣の表地は，JIS L 1094 摩擦帯電電荷量測定法に従って試験したとき，試験体の帯電電荷量は７μＣ以下とする。

５　任意の試験項目

５．１　耐水性及び透湿性

製造業者は，ISO 811 に従って静水圧試験を行ったときと，ISO 11092 に従って透湿性の試験を行ったときの，防火服構成素材の挙動に関する情報を提供することを推奨する。

５．２　防火服完成品の試験項目（火炎暴露の熱伝導性）

購入者と製造業者とが合意すれば，防火服完成品を着用したサーマルマネキンに，消防隊員が遭遇する非常時の想定条件で火炎暴露試験を行い，防火服の防護範囲における２度以上の想定火傷面積比率，試験後の防火服の残炎や穴開き・変色・炭化・収縮等の損傷の程度を報告する。

６．　マーキング

この基準への適合が求められる防火服には，この基準に適合する防火服であることを表示するラベルを永久的かつ目立つように取りつける。

ラベルには，この基準に適合していることを示す表示，１．３項で定めるよう

に，常に組み合わせて使用する生地層や内衣があることを示す表示，２．４項に定めるように洗濯方法の表示や２．４．２項に定めるように洗濯を行わない旨の表示などを行う。

附属書A（規定）　耐熱試験

この附属書は，1999年第1版として発行されたISO 11613 附属書Aを翻訳し，技術的内容を変更することなく作成したものである。

A．1　原理

素材の試験片を規定の試験温度で 5 分間，熱風循環槽内に吊り下げる。試験片の発火，溶融，溶融滴下，分離又は収縮を，全て記録する。

A．2　器具

A．2．1　強制空気循環槽　試験温度を5分間を超えて維持する能力があり，A．4項で規定しているように試験片（A．3参照）を吊り下げることができるだけの十分な内部容量をもつもの。

A．2．2　剛性正方形テンプレート　150mm×150mm

A．2．3　定規　ミリメートル単位の目盛りがついたもの。

A．3　試験片

20℃±2℃、相対湿度（65±5）％の標準条件下で，素材を少なくとも 24 時間調整する。テンプレート（A．2．2参照）を使用し，印を付けて正方形の試験片を切り取る。素材又は試験品の幅が 150mm 未満の場合は，試験片を長さ方向に 150mm 切り取って、幅は素材の幅のままとする。試験品目が 150mm×150mm 未満の場合は試験品目全体を試験する。

A．4　手順

試験片の上部中央に金属クリップを取り付ける。槽を試験温度まで加熱する。槽の扉を開き、試験片を手早く入れる。試験片は、槽のどの内面からも 50mm 以上離れるように，槽の中央に吊り下げる。扉を閉めた時からの暴露時間を計測する。5 分後、槽の扉を開いて試験片を取り出す。

扉を開くと槽の温度が低下する。5 分間の暴露時間中，所定の試験温度を上回っていることが望ましい。このレベルより温度が下がった場合は，試験をやり直す。

A．5　報告書

報告書には、下記の観察結果を記載する。

a）　試験片の着火

b）　試験片の溶融：穴の形成や溶融滴下

c）　試験片の分離：裂け，剥がれ

d）　試験片の長さ方向または幅方向の収縮率　ただし収縮が５％を超えている場合。

附属書F（参考）　リスクアセスメント実施のための推奨アプローチ及び考慮事項

この附属書は，1999年第1版として発行されたISO 11613 附属書Fを翻訳し，技術的内容を変更することなく作成したものである。

F．1　一般

個人防護装備は，消防隊員の安全を確保するためのシステムの一部にすぎない。業務上のリスクを最小限にとどめるためには，消防機関における充分な訓練，適切な指導管理，適正な人員配置も，極めて重要な要素である。

このISO 11613:1999 の第４節及び第５節はEN 469及びNFPA 1971 を引用しており，一般建物火災用の消防隊員用防護服について，似てはいるが異なる２つのアプローチについて説明している。これらの基準は，これらの文書を作成した世界の各団体の消火経験，消防隊員の死傷事故の歴史を反映しているものと思われる。いずれの文書も，消防隊員の防護について規定しており，世界各地の様々な火災事故の背景要因や消防活動を考慮に入れたものとなっている。

消火活動及び救助作業の基本的な目標は，場所に関係なく，緊急事態をできるだけ迅速にコントロールすると同時に，人的物質的損害並びに損失を最小限にくい止めるための手段を講じることである。火災現場に到着した消防隊員の目的を優先順位別に示すと，次のようになる。

(ア)人命を救助し，負傷を防止するか，又は最小限に食い止める。
(イ)財産への損害を防止するか，又は最小限に食い止める。
(ウ)環境への損害を防止するか，又は最小限に食い止める。

消防隊員用の個人用防護装備（ＰＰＥ）の役割は，消防隊員を防護するだけでなく，消防隊員がこれらの目的を達成できるようにすることである。

しかし，消防隊員がこれらの目的を達成し得ない緊急の状況下では，消防隊員が受容しがたいほどの負傷を負うことなく脱出できるよう，ＰＰＥは充分な防護を提供するものでなければならない。特定のＰＰＥの用途に対するリスクアセスメントを行い，危険を確認し，危険を評価することにより，危険を排除又は軽減するために必要な性能を有するＰＰＥのタイプ及びその提供する防護の種類を選定しなければならない。

F．2　リスクアセスメント実施の一般的アプローチ

リスクアセスメントプロセスの３つの主要な段階は，次のとおりである。

(ア)リスク確認：消防本部・消防団の作業の各側面について，潜在的な問題点及び危険を列挙する。

以下は，このプロセスにおいて有用と思われる情報源の例である。

①　隊員がさらされている，又はさらされる恐れのあるリスクのリスト

② 当該消防署管内や全国の過去の事故，疾病及び負傷の記録

③ 防火対象施設や消防設備の調査並びに検査等

(イ) リスク評価：以下の質問を用いて，リスク確認プロセスで挙げられた各項目を評価する。

① 事故発生のレベルや被害の大きさは，どの程度か？

② 事故の潜在的発生頻度又は発生確率は，どの程度か？

③ 事故発生の影響力はどのようなものか？

ＰＰＥ性能の仕様を作成する場合に，優先順位をつける際に役立つと思われる情報源として，

以下のものを挙げる。

Ⅰ) 安全監査及び検査報告書

Ⅱ) 過去の事故，疾病及び負傷の統計

Ⅲ) 現地の状況への全国データの応用

Ⅳ) 管轄区域に特有のリスクを評価する際の専門的判断

(ウ) リスクコントロール：リスクが確認され，評価されたら，直ちに各リスクの制御を実施し，文書化しなければならない。この作業にはリスクの排除又は軽減のための試験方法及び要求性能の適切性を判定することが含まれる。通常，リスクを制御する２つの基本的方法を優先順位で並べると，以下のとおりとなる。

① 可能な限り，リスク又はリスクのある活動を，完全に排除及び/又は回避する。

② リスクの回避又は排除が不可能であったり，現実的でない場合には，適切なＰＰＥ仕様を開発するなど，リスクを制御するための措置を講じなければならない。

適切なＰＰＥ仕様は，標準操作手順，訓練，検査を含む安全プログラム全体の一部でなければならない。

どのプログラムについても，計画が機能しているかどうかを評価することが重要である。

定期的評価を実施することが望ましい。

また，プログラムの要素が十分に機能していない場合には，プログラムの修正を行うことが望ましい。リスクを制御する基本的な方法が変更された場合には，新たなリスクアセスメントを実施することが望ましい。

Ｆ．３　消防隊員のリスクを確認し，評価する際の推奨要素

適切な消火防護服を購入するために，この基準を使用する場合，リスクアセスメントにおいて考慮すべき要因の一部として，次の点が挙げられる。

(ア) 消防隊員の訓練及び経験のレベル

充分な訓練を受けた経験豊かな消防隊員は，火災による危険を認識し，負傷の可能性を最小限に食い止めるような方法で，適切に対応する可能性が高い。訓練の質，量及び頻度も，消防隊員の負傷の可能性に影響を及ぼす。消防隊員は、選択されたＰＰ

Ｅの仕様について具体的な訓練を受けることが望ましい。

（イ）　消防隊員の体力及び健康のレベル

健康状態及び体調が良好な消防隊員は，健康状態及び体調が悪い消防隊員よりも，安全に対応する可能性が高く，火災現場において，ストレスに起因する負傷を受ける可能性が低い。

（ウ）　火災現場における消防隊員の任務

建物火災において果敢に屋内に突入する消防隊員は，延焼中の建物の外で防衛態勢を取る消防隊員より，火傷を負う危険性が高い。火災現場における消防隊員の責任によって，異なる防護を要求する消防機関があっても良い。　また，緊急の状況では，どの消防隊員も，いかなる任務にも対応しなければならない可能性があることを認識し，消防隊員がいかなる任務をも実行できる装備を求める消防機関があっても良い。いずれの場合であっても，火災その他の緊急事態に対応する消防隊員の活動が，どのような負傷のリスクがあるかを判定しなければならない。例えば，防衛的な活動用よりも，果敢に屋内突入するために設計されたＰＰＥを，消防隊員に装備させるという方法もある。

（エ）　火災現場の環境条件

火災現場における高温高湿や低温の環境条件は，消防隊員の防護に大きく影響する。加えて，活動中の消防隊員が，割り当てられた任務自体から影響を受ける身体的な環境条件も，考慮しなければならない。例えば，消火用ホースを操作する消防隊員は，濡れる可能性がある。水が防火服の内部に入ることは，防火服の機能に良い影響を与える場合と悪い影響を与える場合がある。

（オ）　火災現場で直面する固有の危険

任務のリスクを評価する際には，身体的その他の危険以外に，熱による危険を考慮に入れねばならない。熱暴露のタイプ・レベル・時間は，身体的な環境条件も含めて，消防隊員が直面する潜在的リスクに重大な影響を及ぼす。火炎への接触，視界の悪さ，燃焼ガス・煙，足下の凹凸も火災現場での負傷事故発生の可能性を高める。

（カ）　防火服その他の防護装備の限界

防火服は，負傷をなくす又は最小限に減らすように設計されるが，どんな状況においても防火服の防護性能には限界があることを認識しておかねばならない。防火服の性能は，設計の特徴や素材の性能特性によって限界がある。加えて，これらの特徴は着用時には低下している可能性もある。防火服を継続して性能を保持するためには，適切な維持管理が実施されねばならない。　防火服を，ヘルメット，手袋，靴，自給式呼吸器などのＰＰＥと組み合わせるには，着用者に完璧な防護を提供するという考え方で行わなくてはいけない。

(キ)　火災現場における命令系統のタイプと適用

消防隊員の，突発／対応時の規律と訓練の量は，負傷の危険に大きな影響を与える。自分の責任をよく理解し，よく教育指導された消防隊員は，単独で統一的でない行動をとる隊員に比べて，負傷する可能性が低い。

消防や関連活動にＰＰＥを長時間着用するとヒートストレスが貯まることを，考慮しなければならない。ヒートストレスその他の関連ストレスは，消防隊員の死傷原因の一つになる。ヒートストレスは，前述の全ての項目に含まれる様々な要因によって決まる。

Ｆ．４　その他の考慮すべき事項

世界のどこでも、消防隊員は様々な状況に直面する。火災が拡大し，燃焼ガスに着火して，フラッシュオーバーに至るといった火災の現場では,建物の内装品などの燃焼により，熱や燃焼ガス・煙に暴露されるといった状況も含まれる。これらの状況に直面した消防隊員は，建物の構造や通常の消防戦略といったものとは無関係に，同様の熱や燃焼ガス･煙の暴露を受ける。建物火災用の消防防護装備は，このような過酷な条件から長時間防護し続けることはできない。　消防隊員は，これらの状況から迅速に脱出できなければ，確実に負傷し，極めて高い確率で死を招くであろう。

消火活動の計画的配備においては,防火に対する地域の取り組みが重要な役割を果たす。世界の消防本部や消防団は，その地域の火災の性質と利用可能な手段を，介入のレベルに反映した戦略及び活動手順を開発している。　防火を地域の重要な政策と位置づけて，条例や基準として地域の計画に自動監視内蔵の探知消火システムの使用を定めている地域は,重大な火災を数多く経験することは無いであろう。　火災が発生したとき，屋内での消火活動の危険度が低い火災の初期段階においては，屋内活動が行われる。　よく管理され，よく訓練され，綿密な指導がされ，適切に人員配置された消防本部や消防団は，地域に経済的損失を最小限にするために効果的に任務を遂行し，安全に活動するためにリスクマネジメントを行うことができる。

建物の構造は，屋内消火活動に影響を与える非常に重要な要因である。　建物が区分化された耐火構造の場合，火は建物の設計に出火場所又は建物の一部分の範囲内に留まる。このような状況では，火は直接の消火活動をしなくても，或いは消火活動が少なくても，出火場所又は出火した部屋の中で燃え尽きてしまうので，消防隊員の熱的環境は改善される。

消火のための水源が乏しい地域，建物が比較的小さくて，その間隔が広い地域，又は消防本部や消防団が，よく組織されていない，よく訓練されていない，適切に人員配置されていない，指導されていない，或いは，屋内消火活動用の適切な資機材を持たない地域であって，消防本部や消防団に，屋内探索や救助活動が要求も期待もされていない地域にあっては,屋外消火活動が効果的に機能するだろう。　なぜなら，そのような屋外活動には，

屋内活動のような高レベルの防護装備は必要ないからである。

高度な防火構造の建物が無く，燃えやすい材料で建てられた家が多い地域がある。 多くの場合，そのような家は密集して建てられているので，火災をコントロールできなくなり，次から次，家から家に火災が拡大してゆく。 多くの消防本部や消防団は，発生した火災の影響が及ばない家にまで入り，危険にさらされた住民を探し出すための，屋内探索や救助活動を行うことを期待されている。

屋内探索や救助活動することを期待され，また火災をできるかぎり小さな範囲に抑え込み，地域の経済的損失を最小限にすることを期待されている消防本部や消防団では，消防隊員は任務を遂行する間に，極めて過酷な熱的環境にさらされることになる。 できる限り短時間で目的を達成するために，このような任務には，果敢な屋内突入が必要とされる。こうした任務に従事する消防隊員用の防火服には，最高の防護性能を付与するべきである。

多くの消防本部や消防団では，屋内の消火活動に特定の要員を割り当てるが，一方，火災の影響を受ける屋内活動には参加しない任務にも，要員を割り当てる。 そのような消防本部や消防団では，屋内突入チームには，その他の任務に就く隊員よりも高度な防火服を供与するという選択もある。

その他の消防本部や消防団では，いかなる火災においても，また消火活動中のいかなる時においても，消防隊員全員が，屋内突入チームの活動を遂行できることを要求するかもしれない。 このような場合では，恐らく消防隊員全員がより高いレベルの防火服を着用する必要がある。

いずれの場合も，地域は消防本部や消防団に果たすべき使命や目的を明確にしなければならない。 消防本部や消防団は，地域のため，自組織のために，目的達成のための任務を効果的に安全に遂行するどのくらいの組織，指導，訓練，人員配置，資機材のレベルが必要かを適切に定義せねばならない。 この過程で，様々な消火活動の危険性及び適切な防火服と装備がどうあるべきかが明らかになる。

消防防護服に関する最近の考え方は，消防隊員が彼らの能力以上のことができるようになることであるが，その結果，熱を感じて周囲の状況を判断することができないくらいの仰々しい装備や先進的な防火服を着用するのでない限り，非常に危険な状況に陥ることがある。 能力以上のことをする消防隊員は，恐らく，緊密な管理指導の下や，全ての消火チームの位置，機能，安全をコントロールする指揮命令系統に従って行動することができない。 それでもなお，防火服は，消防隊員が指揮命令系統の下で，より効果的に消火活動ができるものでなくてはならない。 全ての消火活動が指揮命令系統によって管理され，その下で消防隊員は直接指導を受けて行動することで，消防隊員の能力も高まるが，防火服による防護のレベルに係らず，自分の肌以外の全ての着装品が，消防隊員が能力以上に活動することを可能にする。

熱の蓄積程度を判断する能力は，消防隊員が着用しているものによって決まる。 防火服が，どのように熱を伝達するかを消防隊員が肌で感じることができるようになるには，実際には訓練によるしかない。 ある防火服で感じるものが，別の防火服では全く変わることがある。 全ての防火服に適用できる熱の蓄積の尺度というものはない。 しかも，短時間の熱暴露後の比較的低温（約 55℃）であっても 2 度火傷の熱暴露を示すかどうかを，人体で実験確認することは実際的ではない。

防火服に関する別の考え方は，断熱性の高い防火服の方が，軽くて防護性の低いものよりも，ヒートストレスが原因で，より多くの負傷を生じさせているというものである。 これまで，ストレスに関係する死傷事故の報告には，間違った結論が導き出されてきた。 これらの負傷は，防火服を着用した結果であると主張するものもある。 ヒートストレスは防火服だけに起因するものではないので，ヒートストレスに影響を与え得る複数の要因から多面的に取り組まねばならない。 消防隊員の年齢，体調，個人の代謝を含め，どのくらい管理指導されているか，もし体調がモニターされて消火活動中絶えず注意されているかどうかなど，ストレスやヒートストレスに影響を与える全要因を評価しなければならない。 より軽い防火服が着用者に与えるストレスを減らすのに有効であろうとも，国際規格によって規定された最小限の防護性能を有していている防火服が選択されるべきである。消防本部や消防団は，ヒートストレスやストレスに関する問題に総合的に取り組まねばならない。 防火服のファスナーを広げて換気すること，液体の置換やその他のリハビリを実践することが，ヒートストレスの低減に繋がるということを加味すべきである。

どんな防火服を選択するにしても，消防本部や消防団は，自らのニーズを精査し，適切な防護レベルを決定せねばならない。 購入仕様書には，これらのニーズが反映され，適用される基準に適合することを具体的に要求するべきである。 この国際規格は，消防隊員が直面するあらゆる状況や条件に対応する防護のレベルを設定できるものと解釈すべきではない。

附属書１（参考）　防火服の性能基準　対比表

この基準：2003	ＩＳＯ 11613：1999
１　設計要求項目	**４．２　設計要求項目**
1.1 構成 防火ｽﾞﾎﾞﾝ基準必達 上衣とは別個に判定	4.2.1 構成 防火ｽﾞﾎﾞﾝ基準未達可 熱伝達データ表示
1.9 防火服の重量 性能ﾚﾍﾞﾙ確保と軽量化努力	4.2.9 防火服の重量 性能ﾚﾍﾞﾙ確保と軽量化努力
２　前処理	**４．３　前処理**
2.4 洗濯 原則　洗濯しない 耐炎性・熱伝達(火炎・放射熱)のみ，洗濯する 例外(銀面) 洗濯しない	4.3.2 試験片の数とｻｲｽﾞ 通常、受領したまま試験 4.3.4 洗濯 耐炎性，熱伝達(火炎・放射熱)のみ洗濯する
３　構成素材の性能要求項目	**４．４　性能要求項目**
3.1 耐炎性 ISO15025 AF/AG 2 秒以下 全焼穴あき着炎溶融不可	4.4.1 耐炎性 EN532　AF/AG 2 秒以下 全焼穴あき着炎溶融不可
3.2 熱伝達性(火炎暴露) ISO9151, 13 以上	4.4.2 熱伝達性(火炎暴露) ISO9151, 13 以上
3.3 熱伝達性(放射熱暴露) ISO6942:2002 t24=18 以上, t24-t14=4 以上, TF50%以下	4.4.3 熱伝達性(放射熱暴露) ISO6942:1999 t2=22 以上, t2-t1=6 以上, TF60%以下
3.6 液体化学薬品浸透性 d)パラキシレン　ISO6530	4.4.10 液体化学薬品浸透性 d)ﾎﾜｲﾄｽﾋﾟﾘｯﾄ　ISO6530 (白灯油)

4　表地の性能要求項目	4．4　性能要求項目
4.1 引張強さ並びに放射熱暴露後の残留引張強さ ISO6942:2002A 法熱暴露 ISO5081 1,200N	4.4.6 引張強さ ISO5081 450N 4.4.4 放射熱暴露後の残留引張強さ ISO6942:1993 ISO5081 450N
4.1.2 銀面編地の引張強さ並びに放射熱暴露後の残留引張強さ ISO13934-1 引張強さ 450N	－
4.2 引裂強さ ISO4674:1977A2 法　40N	4.4.7 引裂強さ ISO4674:1977A2 法　25N
4.2.2 銀面編地の引裂強さ ISO4674:1977A1 ｼﾝｸﾞﾙﾀﾝｸﾞ 25N	－
（任意の試験項目）	4 .4.11 耐水性及び透湿性 ISO811 と ISO11092
4.4 帯電性 JISL1094 摩擦帯電電荷量 7 μC 以下	－
－	－
5　任意の試験項目 5.1 耐水性及び透湿性	**4．5　追加試験項目**
5.2 防火服完成品の試験項目 （サーマルマネキン）	サーマルマネキン試験
6　マーキング 4.に指定表示のラベル 4.2.1 多層構成のラベル表示	**4．6　マーキング** 4.に指定表示のラベル 4.2.1 多層構成のラベル表示 4.7 ISO13688 規定の表示
附属書　A、Fのみ 1（この比較表）	**附属書**　A～G G（4.欧法と 5.米法の比較）

防火服の性能基準　解説

この解説は，本体に規定した事柄及び参考に記載した事柄，並びにこれらの関連した事柄を示すもので，基準の一部ではない。

1．制定の経緯　この基準は，使用者，製造者，中立者から成る「防護服性能基準検討委員会」及びその技術委員会である「ＩＳＯ防護服研究会」の研究成果を参考に，財団法人日本防炎協会が定めた。

この基準は，ISO 11613；1999 の第４節，アプローチＡを基礎に研究を進めたが，我が国の消防や防火服の事情を踏まえて変更又は追加された項目がある。

この基準の目的は，日本国内の消防隊員が熱や炎のリスクがある消火活動や関連作業で着用する防火服の最小限の性能要求事項を規定することであるが，防火服の使用者が，この基準を上回る性能を要求すること，或いはこの基準に含まれていない性能を要求することを妨げるものではない。

今後，この基準に係わる委員会を設置して普及を図るとともに，防火服の設計製造技術や消防技術の進歩，或いは内外の消防事情や防火服性能基準の変化を調査研究し，この基準を継続して改良して行く。

研究の課題として，消防活動の内容に応じた多種多段階の性能規格の設定，耐熱性能に加えて運動性能や快適性能との両立を図る設計技術の改良，防火服性能の経年劣化や適正更新の研究，国際基準制定への我が国の意見の積極的反映，全国の防火服使用者の評価情報収集などがあげられる。

2．適用範囲　この基準は，熱及び／又は炎のリスクがある消火活動や関連作業で着用する防護服（以下「防火服」という。）の試験方法と最小限の要求事項について規定する。

この基準は，防火服の設計，使用材料の最小限の性能レベル及びこれらの性能レベルを判定するための試験方法を対象とする。また，ISO 11613:1999 の第４節，即ち EN 469 に基づいたアプローチＡを基に制定されているが同等ではない。

この基準は，特殊な消火活動などリスクの高い他の状況で使用する特殊防護服，又は，例えば，やぶ，荒地又は森林での消火活動のような，周囲温度が高い中での長期間の消火活動に使用される防護服は対象としない。この基準は，頭部，手及び足の防護，又は，例えば化学的，生物学的，放射能及び電気的な危険など，他の危険に対する防護は対象としない。

適切な防火服の選定は，立ち向かうべき危険を識別し，これらの危険の可能性を評価し，これらの危険を軽減又は排除する手段を提供する，効果的なリスクアセスメントを実行することによって行われるべきものである。附属書Ｆでは，推奨するリスクアセスメントの取り組み例を詳しく，また考慮すべき要因についても述べている。

備考　この基準に規定する防火服に加えて，頭部，手及び足を防護するための個人防護装備品を装着することが望ましく，また大半の状況では呼吸器も必要となる。消防隊員は，防火服の限界や遭遇するリスクに応じて必要となる他の個人用防護装備品を含め，この基準で扱う防火服の使用と手入れに関して教育訓練を受けることが望ましい。

３．引用規格　以下に示すＩＳＯ又はＪＩＳ規格は，この基準に引用されており，この基準の規定を構成するものが含まれている。

発行年度のある引用規格については，その後の修正版や改訂版は適用しない。しかしながら，この基準の維持向上を担当する委員会は，以下に示す引用規格最新版が適用できる可能性を調べるよう努めることが望まれる。発行年度の無い引用規格については，最新版を適用する。

ＩＳＯ　１１６１３：１９９９，Protective clothing for firefighters – Laboratory test methods and performance requirements　「消防隊員用防護服—試験方法と性能要求項目」

ＩＳＯ　１５５３８：２００１，Protective clothing for firefighters – Laboratory test methods and performance requirements for protective clothing with a reflective outer surface
「消防隊員用防護服—反射面を有する防護服の試験方法と性能要求項目」

ＩＳＯ　６３３０：１９８４，Textiles – Domestic washing and drying procedures for textile testing　「繊維製品—繊維製品試験用の家庭洗濯及び乾燥手順」

ＩＳＯ　３１７５:１９７９，Textiles – Determination of dimentional change on dry cleaning in perchlorethylene – Machine method　「繊維製品—パークレンによるドライクリーニングによる寸法変化の測定方法－機械式」

ＩＳＯ　１５０２５：２０００，Protective clothoing – Protection against heat and flame – Method of test for limited flame spread　「防護服—熱と炎の防護－火炎伝播性試験方法」

ＩＳＯ　９１５１：１９９５，Protective clothoing – Determination of heat transmission on exposure to flame　「防護服－火炎暴露による熱伝達性測定方法」

ＩＳＯ　６９４２：２００２，Clothing for protection against heat and fire – Evaluation of thermal behaviour of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat　「熱と炎の防護服—放射熱暴露による素材及び素材構成の熱的測定方法」

ＩＳＯ　５０７７：１９８４，Textiles – Determination dimentional change in washing and drying　「繊維製品－洗濯と乾燥による寸法変化の測定方法」

ＩＳＯ　６５３０：１９９０，Protective clothing – Protection against liquid chemicals – Dtermination of resistance of materials to penetration by liquids　「防護服－液体薬品からの防護－液体浸透性の測定方法」

ＩＳＯ　５０８１：１９７７，Textiles – Woven fabrics – Determination of breaking strength and elongation (Strip method)　「繊維製品－織物－破壊強伸度の測定方法（ストリップ法）」

ＩＳＯ １３９３４－１：１９９９，Textiles – Tensile properties of fabrics – Part 1: Determination of maximum force using the strip method　「繊維製品－引張強さ－その１：ストリップ法による最大強力の測定方法」

ＩＳＯ　４６７４:１９７７，Fabrics coated with rubber or plastics – Determination of tear resistance　「ゴム及びプラスチックスをコーティングした繊維製品－引裂強さの測定方法」

ＩＳＯ　４９２０:１９８１，Textile fabrics – Determination of resistance to surface wetting (Spray test)　「繊維製品－表面濡れ性の測定方法（スプレイ法）」

ＪＩＳ　Ｌ１０９４：１９９７，織物及び編物の帯電性試験方法

ＩＳＯ　８１１：１９８１，Textile fabrics – Determination of resistance to water penetration – Hydrostatic pressure test　「繊維製品－水浸透性の測定方法－耐水圧試験」

ＩＳＯ　１１０９２:１９９３，Textiles – Physiological effects – Measurement of thermal and water-vapour resistance under steady-state conditions (sweating guarded-hotplate test)
「繊維製品－生理学効果－熱と水蒸気耐性の測定方法（発汗熱板試験）」

ＩＳＯ　１７４９３：２０００，Clothing and equipment for protection against heat – Test method for convective heat resistance using a hot air circulating oven　「熱

防護服及び装備－熱風循環槽による耐熱性試験方法」この基準の附属書Aは、ISO 17493:2000　5．２項の小型テンプレートを用い、６．１項、７．１項、７．５項と同等である。

4．用語、定義及び記号　この基準の目的のため，下記の用語，定義及び記号を適用する。

4．1用語及び定義　用語の先頭に付した数字は，ISO 11613:1999 第3節第1項の番号であるが，この基準のために新たに作成された番号（38以降）も含まれている。 順序は，語彙によって並べ替えた。

防火服

8　消防隊員用防護服（　firefighters' protective clothing　）

防火服。消防隊員の頸部，胴部，腕部，腿部を防護する特殊な衣服。頭部，手及び足は含まれない。

8.1　防護服（　clothing　）

この基準では，防火服を示す。

24　防火服（　protective clothing　）

上衣とズボン，又はカバーオール，並びに，間隙部被覆品からなる防火服。

個々の防火服

9　防火服（　garment　）

内外・上下の複数枚からなる防護服(clothing)の一品目。単一または複数層からなる。

9.1　防火服外衣（　outer garment　）

防護服の外側の一枚。防火上衣，防火ズボンなど。

9.3　防火服の組み合わせ（　garment construction　）

防火服(clothing)の防火服(garment)の組み合わせ。

27　防火服（　protective garment　）

単一または内外・上下の複数枚からなる防護服の一品目で，例えば，防火上衣，防火ズボン，カバーオール型防火服を言う。

防火服の種類

29.1　セパレート型防火服（　outer two piece suit　）

上衣とズボンの上下ツーピースのセパレート型防火服。

25　防火上衣（　protective coat　）（　jacket　）

手及び頭部を除く，胴部及び腕部を防護するコート型防火服。ジャケット（jacket）も上衣と呼ぶ。

42　銀面防火服（　protective clothing with reflective outer surface　）

外衣の表地にアルミシートを張り合わせた防火服

29　防火ズボン（　protective trouser　）

足を除く，胴部と腿部を防護する防火服。

38　オーバーラップ長さ（　overlap　）

セパレート型防火服において，着用時に防火上衣が防火ズボンと重なる部分の長さ。

26　カバーオール型防火服（　protective cover-all　）

手，足，頭部を除く，胴部，腕部，腿部を防護する上衣とズボンが一体となったつなぎ型防火服。

30　消防活動服（　protective uniform garment　）

防火服の断熱層又は断熱層の一部であり，同時に活動服の両用として設計され，構成された防火服。内衣の一種。

36　内衣（　undergarment　）

防火上衣や防火ズボンなどの内側に着用する衣服。

防火服の生地層

4　生地層（　composite　）

必要な防護を提供する外層，透湿防水層，断熱層など防火服を構成している単数または複数の素材層。

21.1　生地層（　layer　）

必要な防護を提供する外層，透湿防水層，断熱層など一つの生地層。単一層であっても複数の生地や複合生地で構成されている場合や複数の層の素材で一層を構成している場合もある。

21　多層構成（　multi layer clothing assembly　）

着用時の順番に配置された，防火服を構成する生地層の組み合わせ。

9.2　防火服の素材構成（　outer garment assembly　）

防火上衣や防火ズボンなどを構成する生地層の組み合わせ。

39.2　防火服の表面（　outermost surface　）

最も外側の生地表面。ここでは，防火服の表面。

39.3　防火服の裏面（　innermost surface　）

最も内側の生地表面。ここでは，防火服の裏面。

生地層の種類

23　外層（　outer shell　）

防火服の最も外側を構成する生地層。高視認材，ハードウエア，補強材，リストレット素材を除く。

20　透湿防水層（　moisture barrier　）

織物や膜などの素材の組み合わせによる，透湿性と耐水性を有する生地層。

34　断熱層（　thermal barrier　）

熱遮断のための生地層。

32　ライナー（　removable inner liner　）

防火服の内側に、断熱層などとして設計された着脱式の生地層。

37　防寒用ライナー（　winter liner　）
防寒用の着脱式の生地層，任意の層。
40　織地（　woven fabrics　）
織物の生地
41　編地（　knitted fabrics　）
編物の生地

生地層の素材

6　組み合わせ（　assembly　）
防火服の素材の構成。
6.1　素材構成（　component assembly　）
防火服の構成と同じ順番に配置された複数層の素材の組み合わせ。
17　生地（　material　）
防火服の素材。
22　表地（　outer material　）
防火服を構成する最も外側の生地。
15　中地（なかじ）（　interlining　）
着用者の皮膚に接触せず，最も外側の生地と最も内側の生地の間にある生地(きじ)。
11　最内層裏地(　innermost lining　)
防火服の構成素材の最も内側の生地。
39　生地表面（　surface　）
生地の表面。
39.1　生地表面（　outer surface　）
外側の生地表面。ここでは，防火服の生地表面。内衣の生地表面を含む。
39.4　暴露面（　exposure surface　）
熱エネルギーに暴露される表面。炎の場合は，接炎面。
17.1　複合生地（　material combination　）
縫製前に，組み合わされた複合生地。例えば，キルティング生地。

防火服の部品

1　カーゴポケット（　cargo pockets　）
防火服の外装部にあるポケット。
3　衿表(えりおもて)（　collar lining　）
衿を高い位置で閉じたときに皮膚に接する部分
5　開閉システム（　closure system　）
防火服の開口部をしっかりと閉じる方法。　例えば，スライドファスナーとそれを覆う重なり部分を面ファスナーで確実に締めるなど複数の方法の組み合わせ。
10　ハードウエア（　hard wear　）
金属またはプラスチックス素材でできた防火服の非繊維の構成部品。
13　間隙部位（　interface area　）

防火服，ヘルメット，手袋，靴，自給式呼吸器（ＳＣＢＡ）の面体で防護されていない身体の部分。 例えば，防火服とヘルメット，防火服と手袋，防火服と靴，防火服と自給式呼吸器の面体，防火ズボンと靴の境目。

14 間隙被覆品（ interface component ）

間隙部位を限定的に防護するために設計された部品。

28 防護フード（ protective hood ）

しころ，目出し帽（balaclava hood）等。 防火上衣，ヘルメット，ＳＣＢＡ面体の間隙部位を防護する間隙被覆品。

31 防護リストレット（ protective wristlet ）

防火服と手袋との間隙部位を限定的に防護する補助防護装備或いは部品。

33 縫い目（ seam ）

縫いつけ又はその他の方法で，永久的に取り付けられた２つの生地の端を結合した部分。

33.1 主要縫い目Ａ（ major A seams ）

外層の縫い目。断裂すると，内側の透湿防水層，断熱層，消防活動服などの防火服，又は皮膚が露出し，防護機能が低下する恐れの高い外層の縫い目。

33.2 主要縫い目Ｂ（ major B seams ）

透湿防水層や断熱層の縫い目。断裂すると，消防活動服などの防火服又は皮膚が露出してしまい，防護機能が低下する恐れの高い透湿防水層や断熱層の縫い目。

33.3 非主要縫い目（ minor seams ）

主要縫い目Ａや主要縫い目Ｂに分類されない，その他の縫い目。

35 高視認材（ trim ）

視認性を向上させるため外層に取り付けられた素材。再帰性反射材は，夜間の視認性，蛍光材は昼間の視認性を向上させる。

試験方法

17.2 供試体（ material as received ）

提供されたままの状態の生地試料。洗濯等の前処理を行っていないもの。

2 炭化物 （ char ）

物質が熱エネルギーに曝されたときに生成される，もろい残留物（炭)。

7 溶融滴下（ drip ）

熱溶融して，液滴または球状の小さな塊で落下すること。

7.1 溶融滴下物（ molten debris ）

熱溶融して，液滴または球状の小さな塊で落下したもの。

12 完全溶融（ integral melting ）

熱収縮及び／又は熱溶融によって，生地に穴があくこと。

16 製造業者（ manufacturer ）

製造責任を負い，基準に適合した防護服を提供する者

18 溶融（ melt ）

熱によって，固体から液体に変化すること。

4．2　記号及び添字　ISO 11613:1999 の３．２項の記号、添字は省略した。

5．要求事項と試験方法の解説

5．1　限定的な防護の部分について

ISO 11613:1999 4．2．1項には，ジャケット及びズボンで構成されたセパレート型防火服であって，ジャケットが本基準に適合する場合は，限定的な防護の部分をズボンとするとしており，ただし，ISO 6942:1993 に従って 40kW/m² で試験した場合と，ISO 9151 に従って試験した場合の性能レベルを明示することとしているが、この基準１．１項では、防火ズボンの普及のために，これらの限定条項を除外した。

よって，セパレート型防火服において，この基準への適合性に係る判定は，ジャケットとズボンをそれぞれ別個に行うものとした。また，購入者は性能レベルの表示やデータの提供を求めることができる。

5．2　多層構成におけるラベル表示の例外

ISO 11613:1999 4．2．3項には，多層構成の防火服については，それぞれの防火服に明確にラベルで表示するとしているが，この基準１．３項では，多層構成の防火服の外衣に，多層構成である旨をラベルに表示すれば良いことと解釈し運用する。

消防活動服など内衣を，防火服の断熱層の一部として構成した防火服の場合も同様であり，内衣へのラベル表示を省略することができるが，防火服外衣には，必ず内衣を組み合わせて着用することをラベルに表示すること。

5．3　銀面を有する防火服について

銀面を有する防火服が，平成１５年現在，多くの消防機関で使用されている事情や ISO 15538:2001 を参考にして，洗濯処理については２．４．２項に例外規定を定めて，３．１項，３．２項，３，３項の試験方法の特例を認めた。

5．4　銀面編地の引張強さや引裂強さについて

銀面を有する防火服は，平成１５年現在，多くが編地を基布として製造されている事情や ISO 15538:2001 を参考にして４．１．２項に銀面編地の引張強さ並びに放射熱暴露後の表地の残留引張強さの試験方法を定めた。　同様に，４．２．２項に銀面編地の引裂強さの試験方法を定めた。

5．5　耐炎性（火炎伝播性）試験の特例について

例えば，撥水剤などの燃えやすい表面処理剤が，多量に添付されている場合などで，２．４項の洗濯処理の前には３．１項の耐炎性を試験すると不適合であるにもかかわらず，洗濯処理後の試験おいては適合と判定される試料が持ち込まれる可能性を排除するために，３．１．２項に洗濯前の試料の耐炎性試験を要求する特例条項を定めた。

5．6　織地の引張強さや引裂強さについて

附属書１に，この基準と我が国の防火服との現状を対比したが，織地の引張強さと引裂強さにおいて，我が国の防火服の最高水準と同等の性能を求めることとした。

消防研究所研究資料一覧

号数	題　　名	年月日
1	武蔵野台地における地表水および地下水の測水資料	S43. 12
2	武蔵野吉祥寺における揚水実験資料	S44. 12
3	武蔵野台地における帯水層の性状に関する調査資料	S45. 12
4	地震時における少量危険薬品の出火危険とその対策	S48. 3
5	大震火災の延焼性状に関する研究野外火災実験　概要報告	S48. 10
6	市街地火災の延焼性状等に関する研究　旧松尾鉱山廃屋火災実験報告書	S50. 7
7	四日市市大協石油タンク火災原因調査報告書	S50. 10
8	石油タンク消火実験結果報告書	S51. 3
9	呉市山林火災現場付近の小気候	S52. 3
10	主要繊維・プラスチックの延焼・熱分解時の重量減少と発生ガス	S52. 3
11	酒田市大火の延焼状況等に関する調査報告書	S52. 10
12	炭化水素系燃料による可燃性蒸気雲の爆発特性に関する研究　－ファイヤーボールに関する実験－	S53. 10
13	震害分布と表層地盤の関係に関する調査資料　－関東資料－	S55. 1
14	日本海中部地震による危険物施設の挙動に関する調査報告書	S59. 1
15	水幕と樹木の併用による延焼防止向上効果に関する研究報告書	S60. 3
16	石油タンクの底板・アニュラー板の裏面腐食に関する研究　－厚さ分布と腐食量について－	S61. 2
17	円筒貯槽のスロッシングに関する研究報告書	S61. 3
18	修復石油タンクの水張り試験時ＡＥ特性	S61. 3
19	簡易型火災警報器の非火災報に関する調査・研究	S61. 3
20	火源の輪郭抽出	S63. 3
21	林野火災の飛火延焼に関する研究	S63. 3
22	パソコンを用いた林野火災の拡大予測に関する研究	H2. 3
23	早期津波予測システムに関する資料	H3. 3
24	火災規模の防炎効果に及ぼす影響に関する研究	H3. 3
25	火災性状把握システムに関する研究　その１－非火災報データベースに関する共同研究報告書	H3. 3
26	火災性状把握システムに関する研究　その２－火災性状把握システムの試作に関する共同研究報告書	H3. 3
27	防炎物品等を含む火災における発生ガスの毒性に関する研究	H5. 3
28	火災性状把握システムに関する研究（２次）　実用化をめざしたシステムの改良に関する共同研究報告書	H5. 3
29	地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究報告書	H6. 3
30	大火源燃焼試験方法によるカーテンの燃焼性評価に関する研究報告書	H7. 3
31	阪神・淡路大震災における石油タンクの座屈強度に関する調査研究報告書	H8. 3
32	ISO 6941による収縮性、溶融性繊維の燃焼性評価に関する研究報告書	H8. 3
33	平成５年８月６日鹿児島豪雨災害時における鹿児島市民の災害時の行動に関する調査報告書	H8. 3
34	火災性状把握避難誘導システムに関する研究（その１　試作システムの概要）	H8. 3
35	火災性状把握避難誘導システムに関する研究（その２　試作システムのソフトリスト）	H8. 3
36	地下施設における火災の特性に関する研究報告書	H9. 3
37	コーンカロリメーターによる防炎材料の燃焼性状に関する研究報告書	H9. 3
38	地下施設における火災の特性に関する研究報告書	H9. 3
39	少量水による大火災の延焼阻止技術の開発に関する研究報告書	H9. 12
40	被害情報の早期収集システムに関する研究	H10. 3

消防研究所研究資料一覧（つづき）

号数	題　名	年月日
41	照明灯による舞台幕の着火・燃焼性状に関する実験的研究報告書	H10. 3
42	市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書	H10. 3
43	実大規模でのカーテン類の燃焼性状に関する実験的研究報告書	H11. 3
44	大震火災時における地域防災活動拠点の安全性確保に関する研究報告書	H11. 3
45	市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究報告書	H11. 3
46	大規模石油タンクの延焼に関する研究報告書	H11. 9
47	プラスチックパレットの難燃化とその燃焼性に関する研究報告書	H12. 3
48	市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究報告書	H12. 3
49	文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書（その１）	H12. 3
50	地下施設における消防活動のための加圧防排煙技術に関する研究報告書 その１　中型基本地下模型を用いた加圧防排煙実験	H13. 3
51	地下施設における消防活動のための加圧防排煙技術に関する研究報告書 その２　小型基本地下模型を用いた加圧防排煙実験	H13. 3
52	ＡＥ法による石油タンク底部の腐食モニタリング技術に関する共同研究報告書	H13. 8
53	文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書（その２）	H13. 9
54	煙量を減少させる添加剤を含む可燃性液体の燃焼性状に関する報告書	H14. 2
55	ＡＥ法による工水タンク底部の漏洩のモニタリング技術に関する共同研究報告書	H14. 3
56	水による固体可燃物火災の消火と延焼阻止の機構に関する研究報告書	H14. 10
57	実大規模燃焼実験による難燃杉材の燃焼性状に関する研究報告書	H14. 10
58	動物性飼料の自然発火に関する研究報告書	H15. 3
59	ウォーターミストの消火機構と有効な適用方法に関する研究報告書　分冊１	H15. 3
60	ウォーターミストの消火機構と有効な適用方法に関する研究報告書　分冊２	H15. 3
61	ヒドロキシルアミン及びその塩類の危険性に関する研究報告書	H15. 11
62	消防用防火服の耐熱性能の評価に関する研究報告書	H16. 1